جمهورية مصر العربيـة
وزارة البحث العلمى
المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية



المد والجزر

دكتور
على عبد العظيم تعيلب
أستاذ باحث متفرغ
المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية

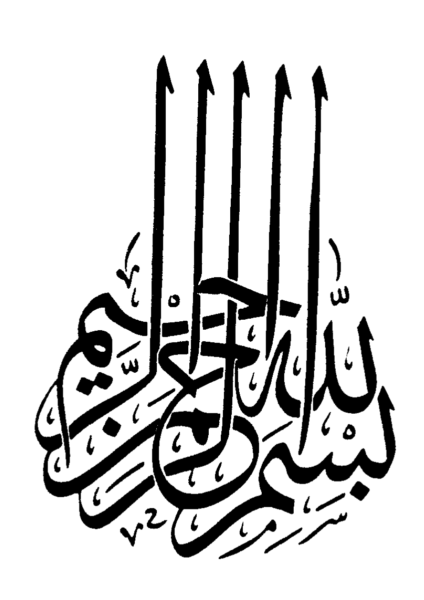
٢٠٠٦ م

المـد والجـرز

تأليف
أ. د. على عبد العظيم تعيلب
أستاذ باحث متفرغ
المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية

الطباعة
مؤسسة الطوبجى
للتجارة والطباعة والنشر
٢٠ شارع الجامع الإسماعيلى -
لاظوغلى - القاهرة
ت ٧٩٦٢٣٦٤ - ٠١٠١١١٨٨٨٤
المدير العام
« سمير الطوبجى »

القاهرة ٢٠٠٦


بسم الله الرحمن الرحيم

تقديـــم

فى إطار سياسة وزارة الدولة للبحث العلمى لدعم البحث العلمى كأساس للتنمية وربطة بإحتياجات مؤسسات الإنتاج والخدمات بالدولة وتشجيعية على إقتحام المشكلات القومية وبحث السبل لحلها ، وخطة المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية فى هذا الاطار يهتم المعهد أيضا بالثقافة العلمية ونشر الوعى العلمى بين شباب المستقبل وسائر المثقفين. ويحرص المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية على تبسيط العلوم وإصدار الكتب العلمية المتخصصة والكتيبات العلمية المبسطة فى مجالات تخصصات المعهد المختلفة لمساعدة القارئ العربى عامة والشباب بصفة خاصة على فهم العلوم وإستيعابها .

وجدير بالذكر أن المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية يقوم سنوياً بنشر العديد من الكتب والكتيبات العلمية المبسطة فى مجالات علوم طبيعة الأرض وعلوم الفلك والفضاء ، وذلك لتعميم مفاهيمها وتقريب مفرداتها من الأجيال الجديدة ، لمساعدتهم على تفهم الكون والحفاظ على البيئة الطبيعية .

وكتاب المد والجزر هو أحد الكتب التى يقدمها المعهد لتبسيط العلوم . وهو يهدف إلى فهم ظاهرة المد والجزر ، وعلاقتها بالأجرام السماوية خاصة كواكب المجموعة الشمسية ، وأسباب حدوث هذه الظاهرة ، وعلاقتها بعدد آخر من الظواهر الفلكية والطبيعية ، وأنواع موجات المد والجزر وتأثيرها على القشرة الأرضية . وهذا الكتاب يضم جهد عالم مصرى له خبرته

الطويلة فى مجال العلوم الجيولوجية والجيوفيزيقية ودراسات ديناميكية الأرض وتحركاتها الحديثـــة . وقد جاء عرضه للموضوع مناسباً للمختصصين والقراء بصفة عـامة .

ومع الأمل فى المزيد من الكتب والكتيبات العلمية المبسطة فى مجالات العلم المختلفة التى تخدم القارئ العربى ، نسأل الله التوفيق لأسرة المعهد لخدمة وطننا الحبيب .

أ.د. صلاح محمد محمود

رئيس المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية



تقديم للمؤلف

الظواهر الطبيعية متعددة الأنواع والمظاهر، منها ما يحدث بصفة دورية ومنها ما هو فجائي الحدوث - منها ما يشعر الإنسان به ومنها ما لا يشعر به وتسجله أجهزة الرصد الحساسة فقط - منها ما هو كارثي مدمر وإن إختلفت درجات الدمار الناتجة عنه ومنها ما لا يحدث أي أثر تدميري على الأرض وإن كان بعضاً منها ذو تأثير طويل المدى - منها ما يؤثر على يابسة الأرض فقط .. ومنها ما يؤثر على الغلاف المائي فقط .. وما يؤثر على الغلاف الهوائي فقط .. ومنها يؤثر عليهم جميعاً أو على أزواج منهم... ألخ.

نعرض في هذا الكتيب العلمي المبسط لأحد أنواع الظواهر الطبيعية المعروفة للإنسان، التي تؤثر على يابسة الأرض كما تؤثر على المياه في البحار والمحيطات الموجودة على سطح الكرة الأرضية وهي ظاهرة المد والجزر التي يرجع حدوثها إلى قوى جذب كواكب المجموعة الشمسية.

إهتم الكتيب بشرح أسباب حدوث ظاهرة المد والجزر، ومدى تأثر الأرض بقوى المد والجزر الناتجة عن الأجرام السماوية، خاصة منها المد والجزر الناتج عن كل من القمر والشمس. كما تطرق الكتيب بالتفصيل للمد والجزر القمري - الشمسي والترددات الناتجة عنه. وفي معرض الحديث عن المد والجزر القمري والشمسي تم معالجة إستجابة كل من يابسة الأرض ومياه البحار والمحيطات لقوى المد والجزر، وأيضا تأثير المد والجزر على الغلاف الهوائي. كما يتعرض الكتيب في ملخص يسير للمد والجزر في كواكب المجموعة الشمسية، وبالتفصيل لتأثير قوى المد والجزر على كل من الأرض والقمر، خاصة الإبطاء في حركة دورانهما وتباعد مداراتهما. ولم يفوتنا

إستعـراض تأثيـر قـوى المد والجـزر على تفـجـر الزلازل وإنطلاق البـراكين والطفوح البركانية.

إستعرض الكتيب أيضا طرق دراسة المد والجزر الأرضي، بدءاً من طرق حساب المد والجزر الأرضي ، وطرق رصده وتسجيله ، ثم طرق تحليل بياناته وإستنباط النتائج. وفي الختام لم يفوتنا ذكر نبذه عن قياسات ودراسات المد والجزر الأرضي في مصر كأحد التخصصات الهامة التي لها عطاء في دراسة تشوهات الأرض، والمناطق المتأثرة بهذه التشوهات خاصة مناطق النشاط الزلزالي.

وأرجو أن أكون قد قدمت من خلال هذا الكتيب العلمي المبسط، المعلومة المبسطة باللغة العربية، وأن يكون هذا الكتيب إضافة إلى المكتبة العلمية العربية.

والله ولي التوفيق ..

المؤلف

د. على عبد العظيم تعيلب

أستاذ باحث متفرغ

المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية



المـد والجزر

المد والجزر ظاهرة طبيعية عرفها الإنسان منذ فترة طويلة من الزمان عندما راقب، على مدار اليوم الواحد، تذبذب مستوى سطح المياه في البحار على إمتداد الشواطئ المأهولة من الكرة الأرضية. وأول وصف دقيق لظاهرة المد والجزر في البحار ظهر في الكتب القديمة منذ أكثر من ألفي سنة مضت. وقد إعتقد الإنسان لذلك أن المد والجزر ظاهرة بحرية فقط، حيث يحدث المد والجزر إرتفاعا وإنخفاضا متواليا لسطح البحر بالنسبة ليابسة الأرض، وغالبا ما يرتفع مستوى سطح المياه في البحار والمحيطات مرتين في اليوم. عندما يكون مستوى سطح المياه في البحار مرتفعاً يسمى "مداً" وعندما يكون المستوى منخفضا يسمى "جزراً".

أسباب حدوث ظاهرة المد والجزر

تحدث ظاهرة المد والجزر على الأرض نتيجة لتغير مجالات الجذب التي تحدثها الأجرام السماوية على الأرض، وتعرف القوى المؤثرة التي تحدث المد والجزر " بقوى المد والجزر". وتنشأ قوى المد والجزر على الأرض نتيجة لمحصلة جذب القمر والشمس وكواكب المجموعة الشمسية وأقرب المجرات للمجموعة الشمسية.. إلا أن هذا التأثير يتباين تبعا لكتلة كل منها وبعدها عن الأرض.

ويمكننا إيضاح أسباب حدوث المد والجزر من خلال دراسة تأثير جسم سماوي ما على الأرض، ثم التعميم على الأجرام السماوية المختلفة، وذلك فيما يلي :

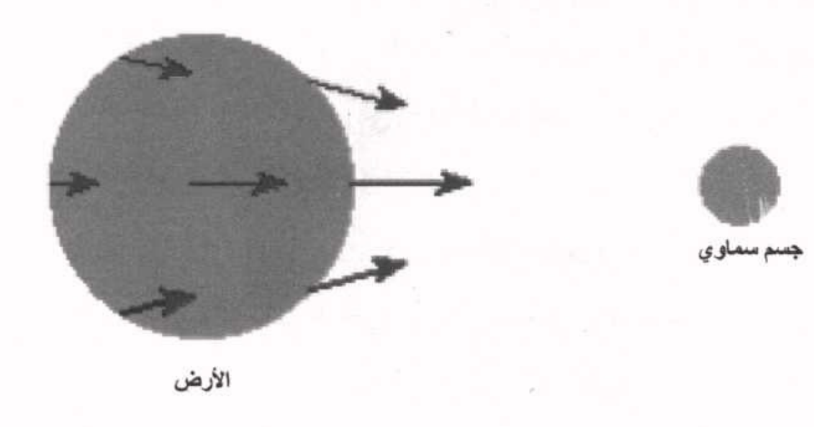
- قوى الجذب المؤثرة من الجسم السماوي على الأرض تخضع لقانون الجذب العام لنيوتن، حيث تتناسب قوى الجذب هذه طردياً مع كتلة الجسم السماوي وعكسيا مع مربع المسافة بين مركزيهما .

- يعمل الجسم السماوي على جذب كل جزء من مادة الأرض في إتجاه مركز الجسم السماوي. وتختلف قوى الجذب الناتجة عن الجسم السماوي على المواقع المختلفة من الأرض، وتكون غير متساوية في القوة والاتجاه عند كل موقع منها تبعاً لموقع الجسم السماوي من الموقع الأرضي (شكل رقم ١) .

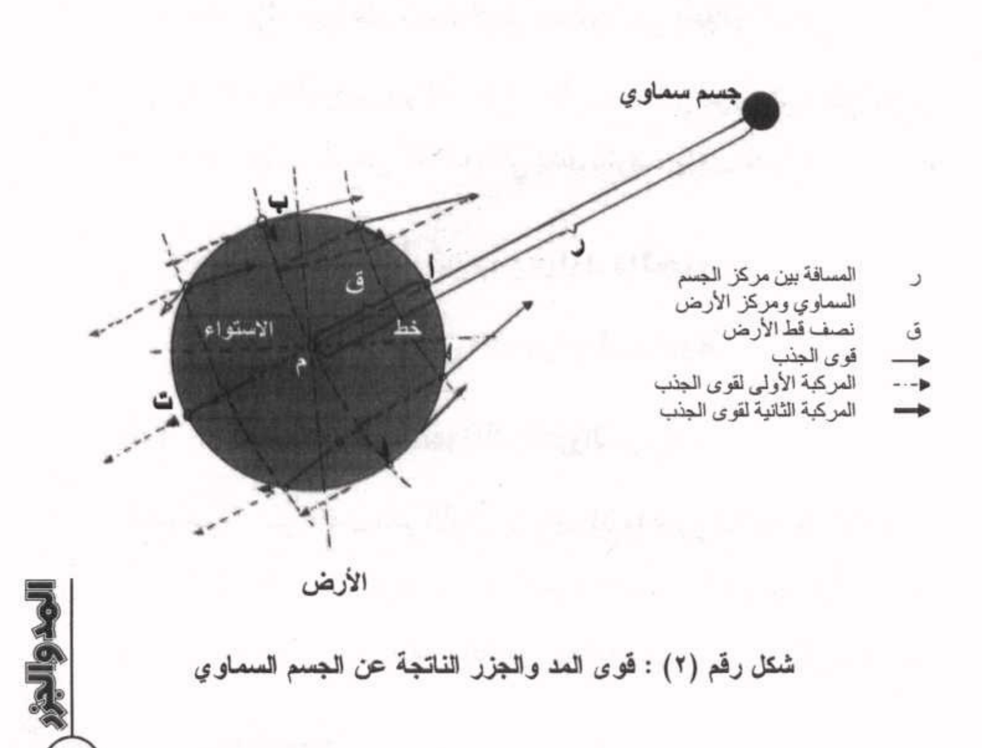
- تشكل قوى الجذب منظومة من القوى المتجمعة التي تتلاقى في مركز الجسم السماوي وتكون قوى الجذب كبيرة نسبياً في المواقع الأرضية القريبة من الجسم السماوي عن المواقع الأرضية البعيدة عنه (شكل رقم ١) .

- تنقسم قوى الجزر المؤثرة على المواقع الأرضية المختلفة إلى مركبتين: الأولى منها هي قوى الجذب التي تعمل في إتجاه الأرض وتتحكم في حركتها بالنسبة للجسم السماوي، والثانية هي القوى المحدثة للمد والجزر(شكل رقم ٢) .

- قوى المد والجزر تنتج عن قوى جذب الجسم السماوي المؤثر على الأرض وقوى الطرد المركزي الناتجة عن حركة دوران الأرض والمؤثرة عند مركز جذب الأرض، حيث يحدث توازنا بينهما عند مركز الأرض، ويمثل الفرق بينهما عند المواقع المختلفة من الأرض قوى المد والجزر الصغيرة نسبيا (شكل رقم ٣) .



شكل رقم (١) : قوى الجذب المؤثرة على الأرض من الجسم السماوي .



شكل رقم (٢) : قوى المد والجزر الناتجة عن الجسم السماوي

- بينما تعمل قوى الجذب في إتجاه الجسم السماوي فان قوى المد والجزر عند النقطة (ت) تعمل عكس إتجاه الجسم السماوي(شكل رقم ٢) . ويحدث ذلك نتيجة جذب الأرض في إتجاه الجسم السماوي بنفس المعدل كما لو كانت في مركز الأرض (م).

- تعمل قوى المد والجزر على تشوه شكل الأرض، حيث يتزحزح سطح الأرض والغلاف المائي الموجود عليه في إتجاه قوى المد والجزر، ويكون تأثير قوى المد والجزر في الجانب الأرضي المواجه للجسم السماوي والجانب الأرضي المعاكس للجسم السماوي أكبر من قوى المد والجزر المؤثرة على المواقع الأخرى من الأرض ومركز الأرض أيضا (شكل رقم٤).

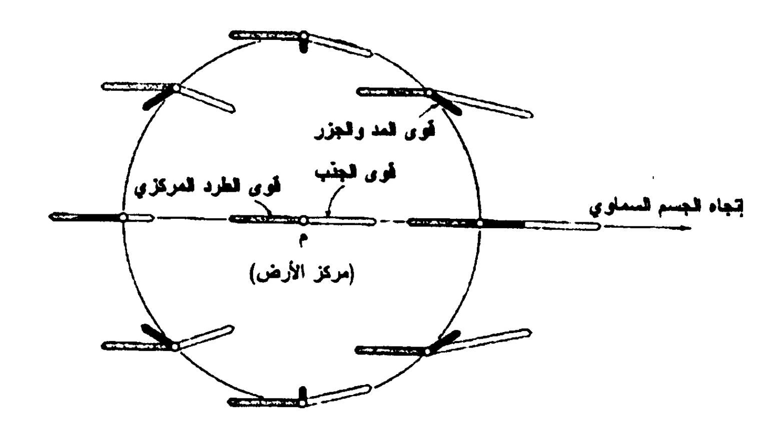
- تعمل حركة الجسم السماوي وحركة الأرض بالنسبة لبعضهما البعض على حدوث قوى جذب تؤثر دورياً على يابسة الأرض وغلافها المائي وغلافها الهوائي.

- تتأثر القياسات الجيوديسيه (الاحداثيات الأرضية) التي تجرى على سطح الأرض سواءاً على اليابسة أو على الغلاف المائي بمدى تأثرهما بقوى المد والجزر.

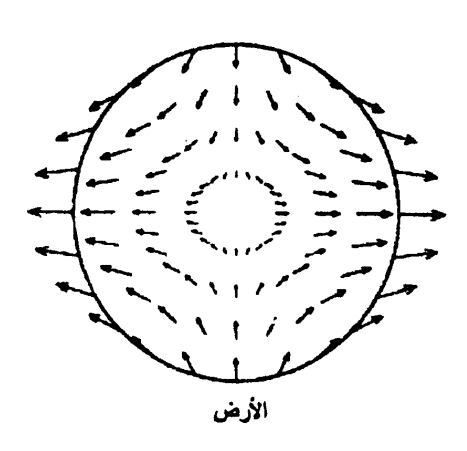
تأثر الأرض بقوى المد والجزر
الناتجة عن الأجرام السماوية

١- المد والجزر الناشئ عن جذب القمر (المد والجزر القمري):

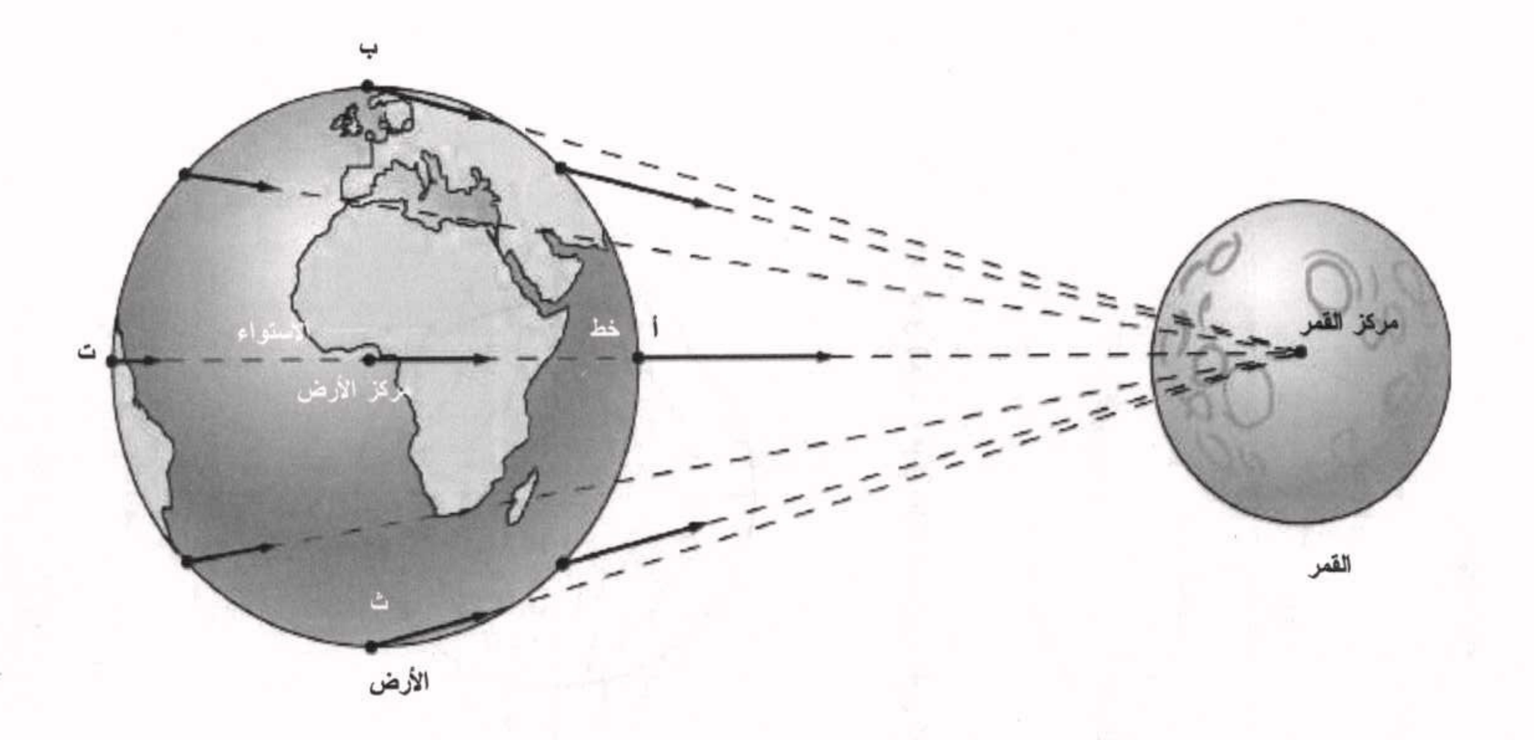
للتعرف على مدى تأثر الأرض بقوى المد والجزر الناتجة عن الأجرام السماوية المختلفة، حيث يتولد عن كافة أجرام المجموعة الشمسية قوى للمد والجزر تؤثر على الأرض بدرجات متفاوتة. نبدأ بالقمر، حيث أنه أقرب جسم سماوي لكوكب الأرض.



شكل رقم (٣) : قوى الجذب – قوى الطرد المركزي – قوى المد والجزر .



شكل رقم (٤) : توزيع قوى المد والجزر .

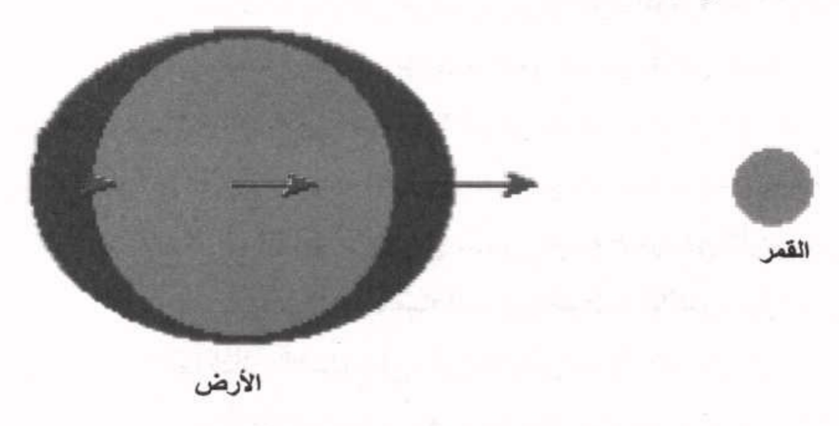


شكل رقم (٥) : قوى الجذب المؤثرة على الأرض من القمر .

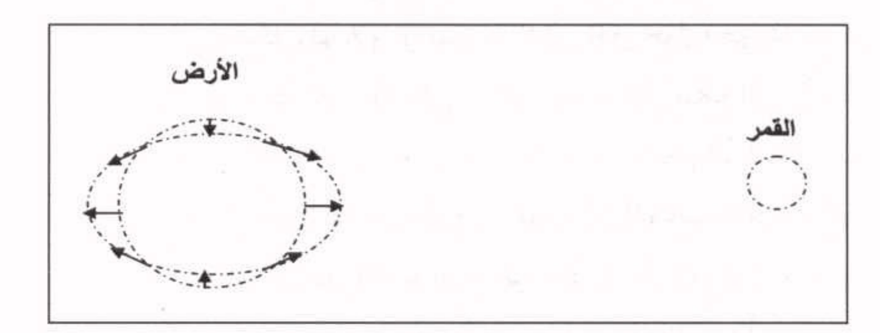
يحدث المد والجزر على الأرض نتيجة لقوي جاذبية القمر المؤثرة عند المواضع المختلفة من الأرض. تؤدى جاذبية القمر إلى سحب الوجه المقابل له من الأرض وما عليها بقوى أكبر من قوى السحب المؤثرة على مركز الأرض. يؤدى هذا السحب إلى حدوث إنتفاخ في وجه الأرض المواجه للقمر. في نفس الوقت يؤثر القمر بقوى جذب على وجه الأرض البعيد عن القمر أقل من القوى المؤثرة على مركز الأرض والقوى المؤثرة على الوجه المقابل من الأرض (شكل رقم ٥). يؤدى سحب القمر للأرض بعيداً إلى حدوث إنتفاخ مماثل في الجانب الآخر من الأرض البعيد عن القمر (شكل رقم ٦). نظراً لأن يابسة الأرض جسم غير تام الصلابة وله درجة ما من المرونة يرتفع الوجه المقابل من الأرض للقمر والوجه البعيد من الأرض عن القمر عدداً من السنتيمترات، أما مياه البحار والمحيطات الأكثر سيولة من يابسة الأرض فإنها تتأثر بالانتفاخ في هذين الجانبين بدرجة أكثر من اليابسة. ويمثل هذا التزحزح لكتلة اليابسة ومياه البحار والمحيطات في الجانب المقابل من الأرض للقمر والجانب البعيد من الأرض عن القمر مداً عاليا ، أما الجوانب الأخرى من الأرض فتكون في حالة جزر (شكل رقم٧).

والإنتفاخ الذي يحدث في مياه البحار والمحيطات يكون غالبا على إمتداد الأرض - القمر (شكل رقم ٨). وحيث أن الأرض تدور حول محورها مرة في اليوم، تتتابع موجات المد والجزر في المواقع المختلفة على سطح الأرض مابين الارتفاع (المد) والانخفاض (الجزر). وإذا ما أخذنا الانحراف الفعلي لمحور الأرض في الاعتبار يكون الشكل رقم (٩) هو الممثل للجانب الحقيقي للمد والجزر القمري. لذا فإن دورة تتابع المد والجزر تعتمد على دوران الأرض حول محورها ويعتمد مدى قوى المد والجزر المسجل على خط العرض الأرضي الذي يسجل عنده المد والجزر.

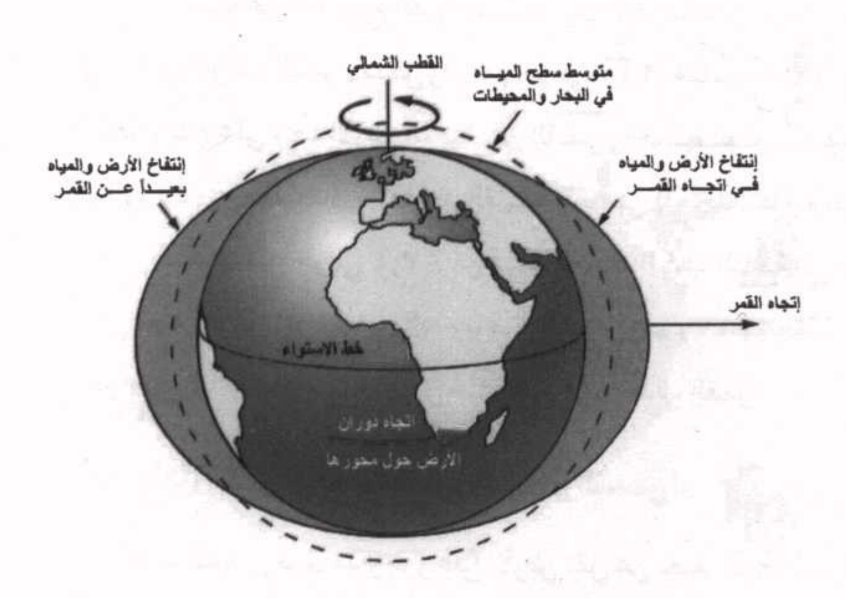
يحـدث المـــد والجـــزر القـــمري عند أي مـــوقع مـن الأرض مـتـأخـراً حوالي ٥٠ دقيقة يومياً . أي لا يكون المد أسفل القمر مباشرة ولكن يميل إلى الخلف منه ، وذلك بسبب حركة القمر ومروره فوق الموقع متأخراً ٥٠ دقيقة كل يوم ، وأيضا حركة مقاومة اليابسة والمياه للإرتفاع إلى إتجاه معاكس لمجال الجاذبية الأرضية .



شكل رقم (٦) : سحب القمر للجانب المواجه من الأرض للقمر والجانب من الأرض البعيد عن القمر .



شكل رقم (٧) : المد والجزر الأرضي الناتج عن جذب القمر .



شكل رقم (٨) : إنتفاخ مياه البحار والمحيطات على إمتداد الأرض – القمر مع عدم أخذ إنحراف دوران الأرض في الإعتبار .

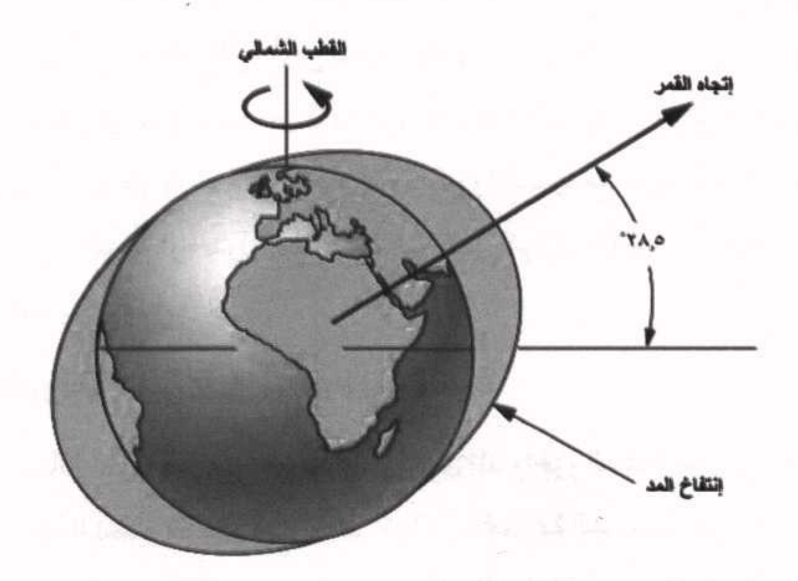


من تطبيق قانون الجذب العام لنيوتن، أمكن التعرف على مقدار المد والجزر القمري المؤثر على المواقع المختلفة من الأرض مع الأخذ في الاعتبار أن كتلة القمر تساوى تقريبا $٧,٣٥ \times ١٠^{٢٥}$ جم، وأن المسافة بين مركز ثقل القمر ومركز ثقل الأرض تساوى تقريباً $٣,٨٤ \times ١٠^{١٠}$ سم، كما أن نصف قطر الأرض يساوى تقريبا $٦,٣٧٨ \times ١٠^{٨}$ سم. أوضحت النتائج أن قيمة عجلة تسارع المد والجزر القمري عند النقطة (أ) على الأرض في الجانب المواجه للقمر (شكل رقم ٥) حوالي ٠,١١١ ملليجال(*)، وعند النقطة (ت) على وجه الأرض البعيد عن القمر (الجانب المواجه للنقطة أ) حوالي ٠,٠٥٥ ملليجال . لذا فإن القيمة العظمى للعجلة الناتجة عن المد والجزر القمري تمثل حوالي ٣,٤ ٪ من قيمة العجلة الكلية الناتجة عن القمر والتي تصل حوالي ٣,٣ ملليجال. ويوضح الشكل رقم (١٠) عجلة تسارع المد والجزر الناتجة على سطح الأرض تحت تأثير قوى جذب القمر.

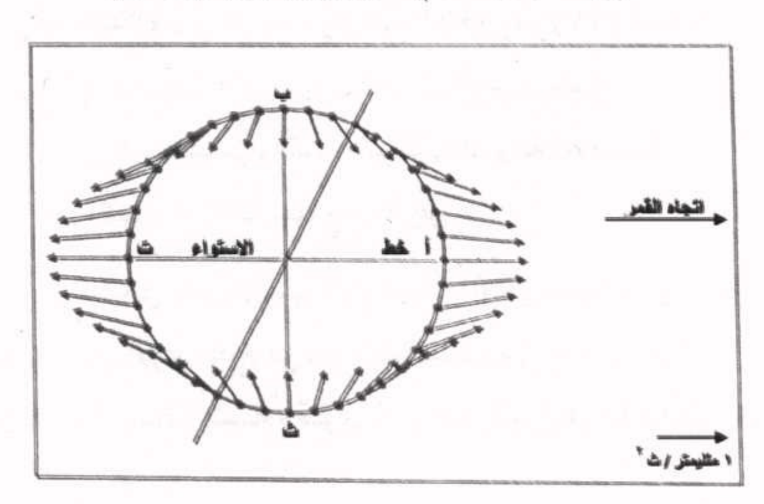
٢) المد والجزر الناشئ عن جذب الشمس (المد والجزر الشمسي):

تحدث الشمس قوى مد وجزر على الأرض تقل عن نصف قوى المد والجزر التي يحدثها القمر. من تطبيق قانون الجذب العام لنيوتن، أمكن التعرف على مقدار المد والجزر الشمسي على المواقع المختلفة من الأرض، مع الأخذ في الاعتبار كتلة الشمس والمسافة بين مركز ثقل الشمس ومركز ثقل الأرض وأيضا نصف قطر الأرض. ويعزى زيادة قوى المد والجزر القمري بمقدار الضعف تقريبا عن القوى المد والجزر الشمسي على الرغم من أن كتلة

(*) وحدة قياس عجلة التثاقلية هي ١ سم / ث ^{٢} وتسمى "الجال" نسبة إلى جاليليو العالم الايطالي الذي أجرى تجربته الشهيرة لقياس عجلة التثاقلية من قمة برج بيزا المائل. والوحدات الصغرى من الجال هي: "المليجال" (= $١٠^{-٣}$ جال) والميكروجال (= $١٠^{-٦}$ جال).



شكل رقم (٩) : إنتفاخ مياه البحار والمحيطات على إمتداد الأرض – القمر
(مع أخذ الانحراف الفعلي لمحور دوران الأرض في الاعتبار)



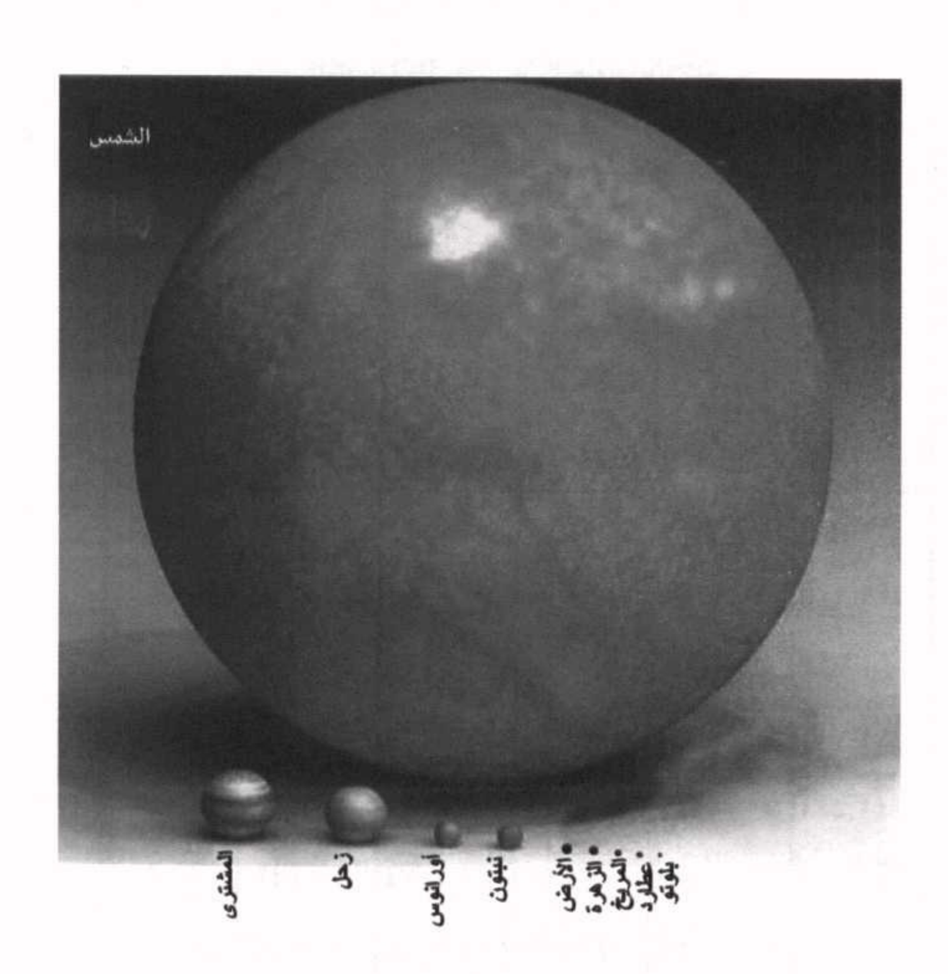
شكل رقم (١٠) : عجلة تسارع قوى المد والجزر الناتجة على سطح الأرض تحت تأثير القمر .

الشمس كبيرة جداً إذا ما قورنت بكتلة القمر، إلا أن المسافة بين مركز ثقل الشمس ومركز ثقل الأرض تفوق المسافة بين مركز ثقل القمر ومركز ثقل الأرض مرات ومرات. حيث أنه تبعا لقانون الجذب العام لنيوتن تتناسب قوى الجذب طرديا مع كتلة الجرم السماوي وعكسيا مع مربع المسافة بين مركزي ثقلهما. والجدول رقم(١) يوضح كتل كواكب المجموعة الشمسية والمسافات بينها وبين الأرض.

٣) المد والجزر الناشئ عن كواكب المجموعة الشمسية:

يتأثر المد والجزر على الأرض أيضا بقوى المد والجزر الناشئة عن كواكب المجموعة الشمسية، حيث يقل تأثير كواكب المجموعة الشمسية على الأرض عن تأثير القمر والشمس. ويرجع ذلك إلى المسافات بين مركز ثقل هذه الكواكب ومركز ثقل الأرض، على الرغم من أن كتل بعض من هذه الكواكب يفوق كتله القمر كثيراً. ويوضح الشكل رقم (١١) أحجام الشمس وكواكب المجموعة الشمسية بالنسبة للأرض. ويشمل الجدول رقم (١) بيانات عن كتل الشمس والقمر وكواكب المجموعة الشمسية وأنصاف أقطار هذه الكواكب والمسافات بينها وبين الأرض.

من تطبيق قانون الجذب العام لنيوتن، أمكن حساب مقدار المد والجزر المؤثر على الأرض الناتج عن هذه الكواكب. ويمثل الجدول رقم (٢) القيمة القصوى لعجلة تسارع قوى المد والجزر الناتج عن هذه الكواكب على الأرض.



شكل رقم (١١) : أحجام الشمس وكواكب المجموعة الشمسية بالنسبة للأرض .

جدول رقم (١)

بيانات كتل وأنصاف أقطار الشمس وكواكب المجموعة الشمسية والمسافات بين كل منها وبين الأرض

إسم الكوكب	كتلة الكوكب (كجم)	كتلة الكوكب بالنسبة لكتلة الأرض	متوسط نصف قطر الكوكب (كم)	متوسط نصف قطر الكواكب بالنسبة للأرض	أقصى مسافة من الأرض ($\times ١٠^{٦}$ كم)
الأرض	$٥,٩٧٤ \times ١٠^{٢٤}$	١,٠٠٠٠	٦٣٧٨	١,٠٠	-
الشمس	$١,٩٨٩ \times ١٠^{٣٠}$	٣٣٣١١٠,٠٠٠٠	٦٩٦٠٠٠	١٠٩,١٣	١٤٩,٦٠٠
القمر	$٧,٣٥ \times ١٠^{٢٢}$	٠,٠١٢٠	١٧٣٨	٠,٢٧	٠,٣٨٤
عطارد	$٣,٣٠٠ \times ١٠^{٢٣}$	٠,٠٥٦٢	٢٤٣٩	٠,٣٨	٩١,٧٠٠
الزهرة	$٤,٨٧٠ \times ١٠^{٢٤}$	٠,٨١٥٠	٦٠٥٢	٠,٩٥	٤١,٤٠٠
المريخ	$٦,٤٢٠ \times ١٠^{٢٣}$	٠,١٠٧٤	٣٣٩٧	٠,٥٣	٧٨,٣٠٠
المشترى	$١,٨٩٩ \times ١٠^{٢٧}$	٣١٧,٩٠٠٠	٧١٤٩٢	١١,١٩	٦٢٨,٨٠٠
زحل	$٥,٦٨٠ \times ١٠^{٢٦}$	٩٥,١٠٠٠	٦٠٢٦٨	٩,٤٥	١٢٧٤,٤٠٠
أورانوس	$٨,٦٦٠ \times ١٠^{٢٥}$	١٤,٥٦٠٠	٢٥٥٥٩	٤,٠١	٢٧٢٢,٤٠٠
نبتون	$١,٠٣٠ \times ١٠^{٢٦}$	١٧,٢٤٠٠	٢٥٢٦٩	٣,٩٦	٤٣٤٩,٤٠٠
بلوتو	$١,١٠٠ \times ١٠^{٢٢}$	٠,٠٠١٨	١١٤٠	٠,١٨	٥٧٩٣,٤٠٠

جدول رقم (٢)

القيمة القصوى لعجلة تسارع قوى المد والجزر الناتج عن الشمس والقمر وكواكب المجموعة الشمسية على الأرض

إسم الكوكب	قيمة عجلة تسارع المد والجزر (سم x ث x ١٠ ٣ = ملليجال)
القمر	٠,١٣٧
الشمس	٠,٠٥٠
عطارد	٠,٣٦٤ x ١٠ -٧
الزهرة	٠,٥٨٨ x ١٠ -٥
المريخ	٠,١١٨ x ١٠ -٦
المشترى	٠,٦٥٤ x ١٠ -٦
زحل	٠,٢٣٦ x ١٠ -٧
أورانوس	٠,٣٦٧ x ١٠ -٩
نبتون	٠,١٠٦ x ١٠ -٩
بلوتو	٠,٧٦١ x ١٠ -١٤

يوضح الجدول رقم (٢) أن تأثير كواكب المجموعة الشمسية على قوى المد والجزر الأرضي تقل كثيراً عن تأثير القمر والشمس، لذا فإن العديد من الدراسات التي تجرى على المد والجزر تأخذ في الاعتبار فقط كل من المد والجذر القمري والمد والجزر الشمسي ومحصلتهما (المد والجزر القمري - الشمسي) وتهمل تأثير باقي كواكب المجموعة الشمسية. وفي حالة الدراسات الدقيقة فقط يؤخذ في الاعتبار تأثير كل من الزهرة والمشترى والمريخ دون سائر كواكب المجموعة الشمسية.

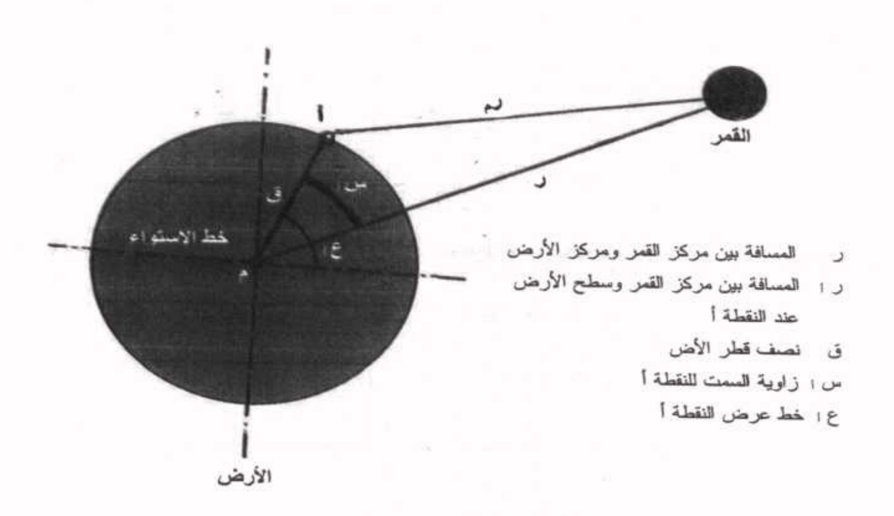
جهد المد والجزر

جهد المد والجزر الناشئ عن القمر والشمس وكواكب المجموعة الشمسية:

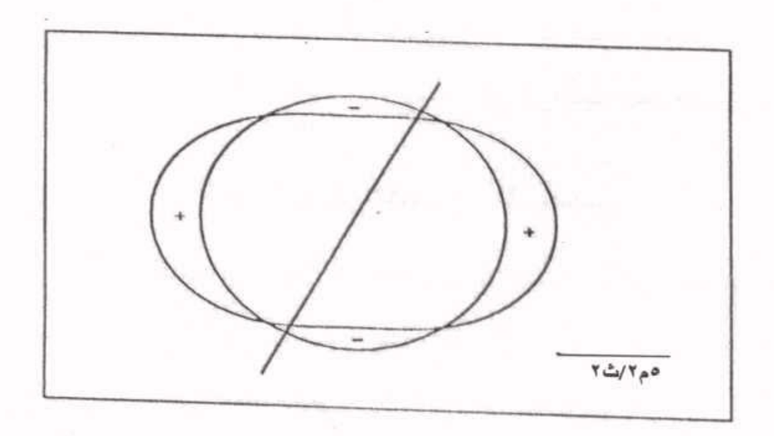
يفضل بعض الدارسين لظاهرة المد والجزر حساب الجهد الناتج عن قوى المد والجزر بدلا من حساب عجلة تسارع قوى المد والجزر. نظراً لأن عجلة تسارع قوى المد والجزر تمثل الفرق بين مركبتين لقوى الجذب، أحدهما تعمل عند مركز الأرض (حركة الطرد المركزي) والأخرى عند المواقع على سطح الأرض، فإن الجهد الناتج عن قوى المد والجزر يمثل أيضا الفرق بين الجهدين المماثلين لعجلتي تسارع قوتي الجذب السابق ذكرهما.

لحساب الجهد الناتج عن قوى المد والجزر بدلاً من عجلة تسارع قوى المد والجزر، فإنه لا يمكن إهمال زاوية السمت، وهي الزاوية التي تقع بين خط المسافة من مركز الجسم السماوي (القمر مثلا) إلي مركز الأرض والخط الواصل بين مواقع رصد أو حساب المد والجزر على سطح الأرض ومركز الأرض (شكل رقم ١٢)، حيث أن هذه الزاوية هي التي توضح التغير في جهد المد والجزر عند المواقع المختلفة على سطح الأرض. بخلاف القيمة الممثلة لزاوية السمت فإن جهد قوى المد والجزر، بتعريف مبسط تتناسب طرديا مع كتلة الجسم السماوي وعكسيا مع مكعب المسافة بين مركز ثقل الجسم السماوي ومركز ثقل الأرض. مكن ذلك من حساب جهد قوى المد والجزر الناتج عن القمر (شكل رقم ١٣) وجهد قوى المد والجزر الناتج عن الشمس وكواكب المجموعة الشمسية. إذا ما إعتبرنا قيمة الجهد الناتج عن تأثير القمر هو الوحدة فإن الجهد الناتج عن تأثير الشمس يكون حوالي ٠,٤٦ وتقل قيمة الجهد بالنسبة لكواكب المجموعة الشمسية كثيراً لدرجة يمكن معها إهمال

هذه القيم وإعتبارَ أن القمر والشمس هما الجسمان السماويان المؤثرين على قيم جهد المدى والجزر المؤثرة على الأرض. ويوضح الجدول (٣) قيمة الجهد الناتج عن الشمس وبعض كواكب المجموعة الشمسية منسوباً بالجهد الناتج عن القمر.



شكل رقم (١٢) : جهد قوى المد والجزر .



شكل رقم (١٣) : جهد قوى المد والجزر عند سطح الأرض الناتج عن القمر .



جدول رقم (٣)

جهد قوى المد والجزر الناتج عن الشمس وبعض

كواكب المجموعة الشمسية منسوبا للجهد الناتج عن القمر

إسم الكوكب	جهد قوى المد والجزر
القمر	١,٠٠٠٠
الشمس	٠,٤٦١٨
الزهرة	٠,٠٠٠٠٥٤
المشترى	٠,٠٠٠٠٠٥٩
المريخ	٠,٠٠٠٠٠١٠

يوضح الجدول رقم (٣) أن قيمة جهد قوى المد والجزر المؤثرة على الأرض هي تقريباً الناتجة عن قوى المد والجزر القمري - الشمسي ، وهى القيم التي تؤخذ في الاعتبار عند دراسة المد والجزر. أما إذا ما إقتضت بعض الدراسات دقة عالية جداً فيمكن أن يؤخذ في الاعتبار تأثير كواكب المجموعة الشمسية.

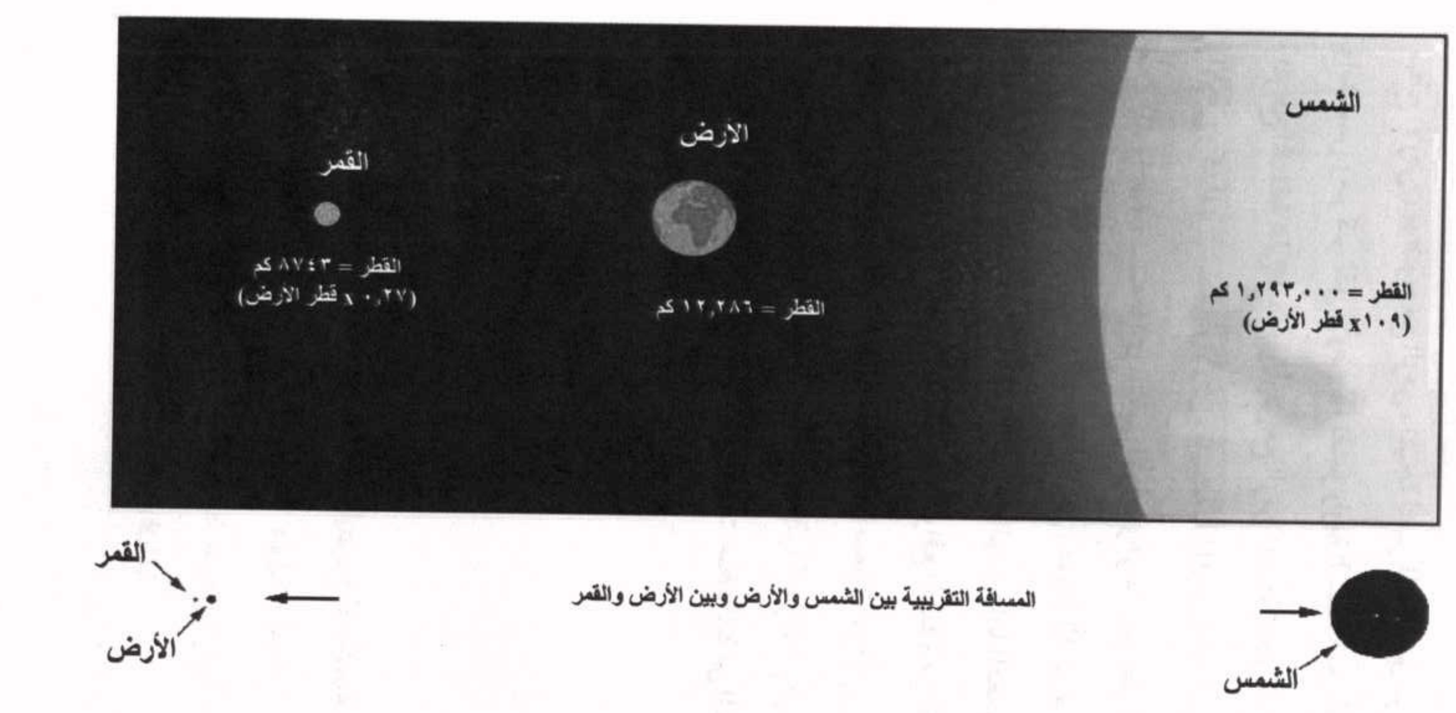
المد والجزر القمري - الشمسي

نظرا لأن القمر والشمس هما الجسمان السماويان الرئيسيان المحدثان للمد والجزر على الأرض ، يعتبر جهد المد والجزر القمري - الشمسي هو الفاعل الرئيسي لحدوث ترددات المد والجزر المختلفة. ويوضح الشكل رقم (١٤) العلاقة بين أقطار الشمس والأرض والقمر والمسافات التقريبية بينهم .

تتغير قيمة جهد المد والجزر القمري - الشمسي، عند أي نقطة على سطح الأرض ، بوضوح مع الزمن، نتيجة لتغير المسافة بين مركزي ثقل القمر والشمس ومركز ثقل الأرض ، وتغير زاوية السمت بين القمر والشمس والمواقع المختلفة على سطح الأرض مع الزمن نتيجة للحركة النسبية للقمر والأرض وكذلك الشمس والأرض. نتيجة لذلك يحدث تغير دوري في قيم جهد المد والجزر حيث يؤدى المتغير الأول، وهو متغير بطئ نسبيا يحدث نتيجة لدوران القمر في مداره حول الأرض ودوران الأرض في مدارها حول الشمس، إلى تغير ترددات المد والجزر مع الزمن. أما المتغير الثاني، وهو تغير زاوية السمت للقمر والشمس عند المواقع المختلفة من الأرض التى تمثل التوزيع الجغرافي لمواقع الأرض، فيؤثر على سعة المد والجزر ويتزحزح المد والجزر حول الأرض من الشرق الى الغرب نظراً لدوران الأرض اليومي حول محورها. لذا فإنه يحدث على الأرض دورات مختلفة من المد والجزر ذات ترددات وسعات مختلفة منها :

- المد والجزر اليومي.
- المد والجزر نصف اليومي.
- المد والجزر طويل المدى.

وكما أن المد والجزر داله زمانيه، فهو أيضا دالة مكانية، حيث يؤثر الموقع على قيمة المد والجزر. فبينما يؤثر خط طول الموقع على وقت حدوث كل دورة من دورات المد والجزر، فإن تأثير خط عرض الموقع أكثر تعقيداً حيث أنه يؤثر على سعات موجات المد والجزر المختلفة.



شكل رقم (١٤) : العلاقة بين أقطار الشمس والأرض والقمر والمسافات التقريبية بينهم .

١) المد والجزر اليومي:

يشمل إرتفاعا واحداً للمياه (مد) وإنخفاضا واحداً (جزر) خلال اليوم الواحد (كل ٢٤ ساعة تقريبا) . وتكون سعة المد والجزر اليومي أكبر عند خطوط العرض الوسطى (٤٥ ٥ شمالاً وجنوباً) ، وتضمحل عند كل من خط الاستواء والقطبين. وسعة هذا المد عامة أقل من سعة المد والجزر نصف اليومي. ويرجع مصدر المد والجزر اليومي إلى حركة القمر والشمس.

٢) المد والجزر نصف اليومي:

المد والجزر نصف اليومي سائد في المد والجزر الشمسي، حيث يحدث مدين وجزرين شمسيين كل يوم وتبلغ الدورة الشمسية الرئيسية للمد والجزر نصف اليومي ١٢ ساعة. كما أن المد والجزر نصف اليومي سائد أيضا في المد والجزر القمري، إلا أن دورته أطول قليلا من دورة المد والجزر الشمسي حيث تبلغ ١٢ ساعة و٢٥ دقيقة، نظراً لحركة دوران القمر حول الأرض كل ٢٧ يوم وإبطاء حركة القمر ٥٠ دقيقة يوميا. لذا يحدث مدين وجزرين قمريين ومدين وجزرين شمسيين كل يوم عند كل نقطة على سطح الأرض نتيجة للحركة اليومية للأرض. وسعة المد والجزر نصف اليومي أكبر من سعة المد والجزر اليومي. وتكون سعة المد والجزر نصف اليومي عند خط الاستواء عاليه جداً وتختفي عند القطبين. حيث تكون سعه المد القمري نصف اليومي المرتفع حوالي المتر عند خط الاستواء، وهى ضعف سعة المد الشمسي نصف اليومي، إلا أنه يصعب رصدها نظراً لتأثيرها أفقيا على إمتدادات واسعة تصل إلى ١٠٠٠ كم.

٣) المد والجزر طويل المدى:

بالإضافة إلى الترددين الرئيسيين المتكررين للمد والجزر، فإن جهد المد والجزر له دورات أخرى تحدث نتيجة تداخل عناصر أخرى أرض قمرية وأرض شمسية، خاصة موقعيهما في مداراتهما، منها:

- **مد وجزر الأوج القمري:** يحدث مرة واحدة كل شهر قمري، مداه إنحدارى قليل. يحدث عندما يكون القمر في أبعد نقطة من الأرض (نقطة الأوج) (أنظر الشكل رقم ١٥).

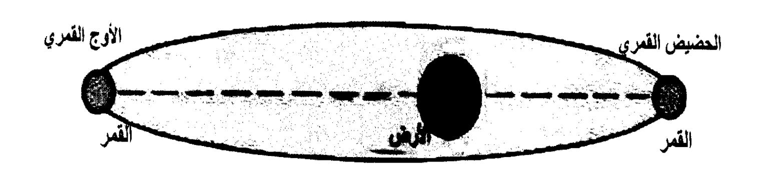
- **مد وجزر الحضيض القمري:** يحدث أيضا مرة واحدة كل شهر قمري، معدله متزايد. يحدث عندما يكون القمر قريباً جداً من الأرض (نقطة الحضيض) (أنظر الشكل رقم ١٥).

- **مد وجزر الأوج الشمسي:** يحدث مرة واحدة في العام (شهر يوليو)، معدله قليل يحدث عندما تكون الشمس في أبعد نقطة من الأرض (نقطة الأوج) (أنظر الشكل رقم ١٦).

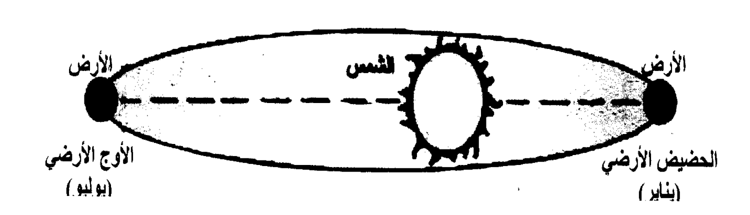
- **مد وجزر الحضيض الشمسي:** يحدث مرة واحدة في العام (شهر يناير)، معدله كبير. يحدث عندما تكون الشمس في أقرب نقطة من الأرض (نقطة الحضيض) (أنظر الشكل رقم ١٦).

- **المد والجزر الضعيف:** مد وجزر ذو سعات قليلة، يحدث مرتين كل شهر عندما يكون القمر في طور التربيع الأول أو التربيع الأخير (أنظر أطوار (منازل) القمر في الشكل رقم (١٧)، أي عندما يكون القمر في وضع عمودي مع خط الأرض ـ الشمس (شكل رقم ١٨). يتداخل تأثير كل من الشمس والقمر على الأرض محدثا مداً ضعيفاً.



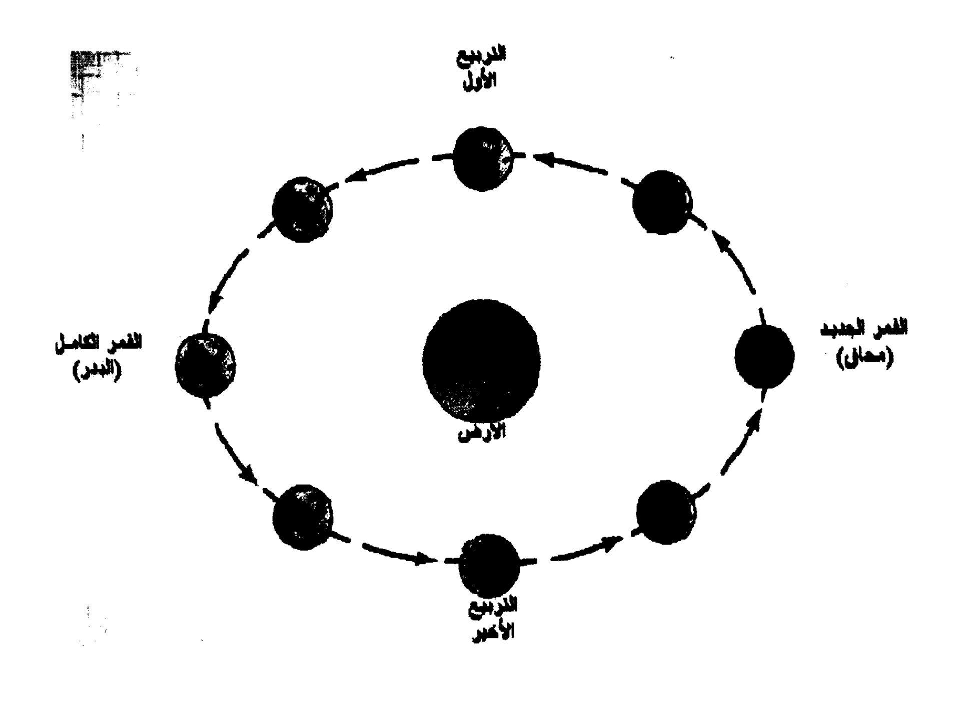


شكل رقم (١٥) : تأثير المدار البيضاوي على موقع القمر من الأرض .



شكل رقم (١٦) : تأثير المدار البيضاوي على موقع الأرض من الشمس .







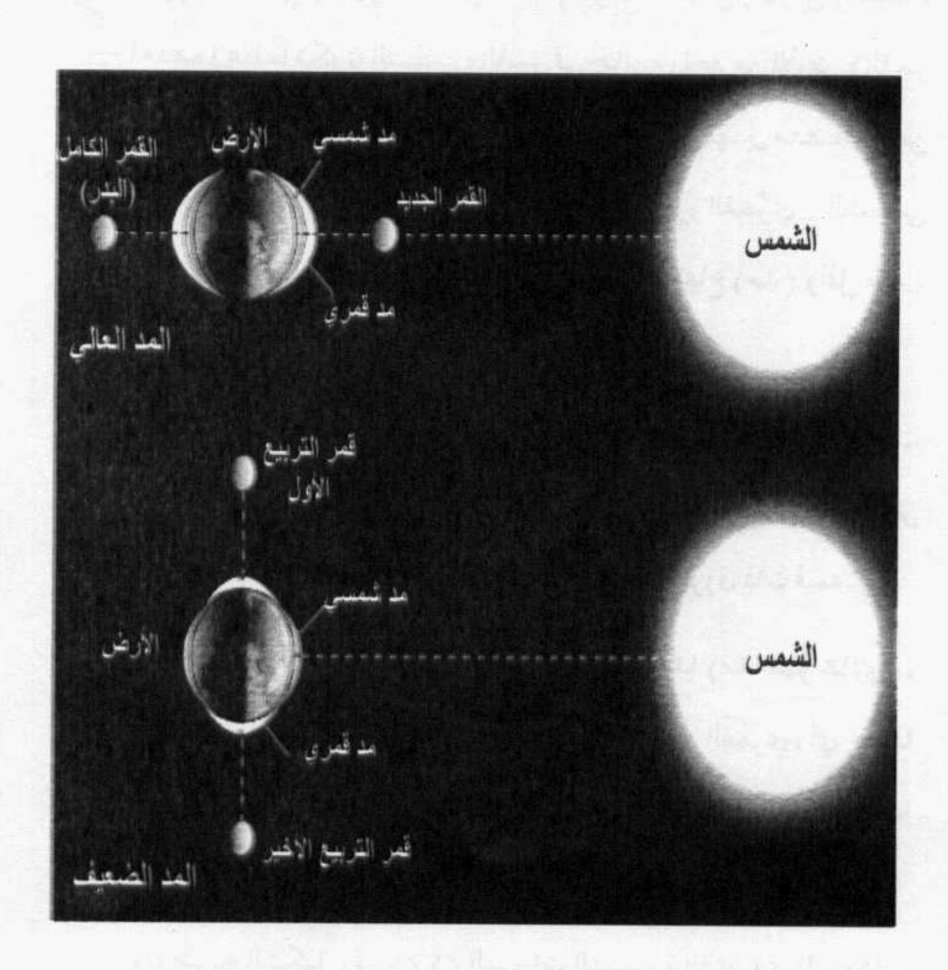
شكل رقم (١٧) : منازل (أطوار) القمر .

- **المد والجزر العالي:** مد وجزر ذو مدى متزايد، يحدث مرتين كل شهر في صورة مد عالي وجزر منخفض، عند إقتران الشمس والأرض والقمر. أحدهما عندما تكون الشمس والقمر في جانب واحد من الأرض (القمر جديداً) والثانية عندما تكون الشمس والقمر في جهتين متضادتين من الأرض (القمر الكامل بدراً). يعمل تأثير المد والجزر القمري ـ الشمسى على تقوية كل منهم للآخر محدثا أعلى معدل للارتفاع (مد) وأقل معدل للانخفاض (جزر) (شكل رقم ١٨).

- **المد والجزر المتلاشي:** هو مد وجزر مركب، من خصائصه عدم التماثل حيث يحدث في إرتفاعين وإنخفاضين بحيث يتداخل إرتفاع مع إنخفاض أو إنخفاض مع إرتفاع فتكون المحصلة تلاشى المد والجزر وعدم ظهور فروق ذات قيمه.

- **المد والجزر غير العادي:** يحدث نادراً مداً عاليا جدا (مد غير عادي)، وذلك عندما يكون القمر والأرض في وضع الحضيض القمري، أي عندما يكون القمر في طوره الحديث ويقع بين الشمس والأرض. ويحدث هذا النوع من المد مرة كل عام ونصف تقريبا(شكل رقم ١٩).

ويوضح الشكل رقم (٢٠) السعات النسبية القصوى للترددات الرئيسية للمد والجزر القمري - الشمسي. ويمثل الرقم (١) التغير اليومي والرقم (٢) التغير النصف يومي، كما يمثل الرمز (ق) المد القمري والرمز (ش) المد الشمسي، أما الرموز الأخرى فتمثل الترددات الأخرى المتداخلة.

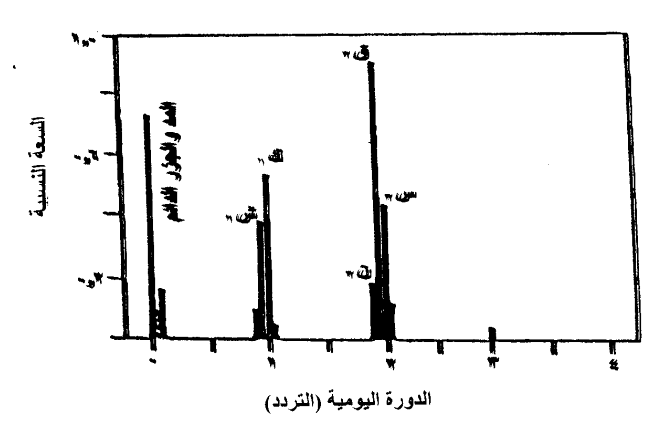


شكل رقم (١٨) : المد الضعيف والمد العالي .

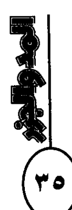




شكل رقم (١٩) : المد العالي جداً (مد غير عادي) .



شكل رقم (٢٠) : السعات النسبية القصوى لترددات المد والجزر الرئيسية .



موجات المد والجزر:

يؤدى تداخل الدورات المختلفة لحركتي القمر والشمس والتغير في المسافات المصاحب لحركتهما مع حركة دوران الأرض إلى حدوث مجموعات موجية للمد والجزر تتعاقب مع الزمن، يمكن تحليلها إلى مجموعات متوافقة من الترددات تعرف باسم "موجات المد والجزر" ويعزى دورية هذه الموجات إلى الحركة الديناميكية للنظام الشمسي (المجموعة الشمسية). ونظرا لأن أطوار القمر تعتمد على موقع القمر من الشمس، فإن موجات المد والجزر تتبع أطوار القمر. وأنواع موجات المد والجزر يمكن إيجازها في الأنواع الثلاثة التالية:

(أ) **الموجات القطاعية الكبيرة:** هي موجات المد والجزر الرئيسية ودورتها نصف يومية، وتتغير سعة هذه الموجات مابين أقصى إرتفاع عند خط الاستواء والاضمحلال عند القطبين.

(ب) **الموجات القطاعية الصغيرة:** هي موجات مد وجزر دورتها يومية، وتتغير سعتها ما بين الارتفاع المتوسط عند خطى عرض ٤٥- شمالا وجنوبا والاضمحلال عند خط الاستواء والقطبين.

(جـ) **الموجات النطاقية:** هى موجات المد والجزر ذات المدى الطويل، يصل مداها مابين تسعة أيام إلى ستة شهور، سعتها القصوى عند القطبين والدنيا عند خط الاستواء.

التأثيرات والاستجابات المختلفة لقوى المد والجزر

نظراً لأن نفس القوى القمرية - الشمسية المحدثة لقوى المد والجزر على الأرض تؤثر على الأرض اليابسة وما عليها من غلاف مائي وهوائي، فان قوى المد والجزر تحدث تشوها في اليابسة والمحيطات مختلفاً المدى في كل منهما نظراً لاختلاف طبيعة كل منهما عن الأخر. فمن الواضح أنه لا يمكننا الإحساس بمد وجزر يابسة الأرض قدر إحساسنا ومشاهدتنا للمد والجزر البحري. فعلى الرغم من قدر إحساسنا بالمد والجزر البحري فإن مد وجزر يابسة الأرض لا يمكن رصده إلا باستخدام أجهزة دقيقة حساسة لاستجابة يابسة الأرض للمد والجذر. أما إستجابة الغلاف الهوائي للمد والجذر فقد إختلفت بشأنه الآراء نظراً للعوامل الكثيرة المؤثرة على الغلاف الهوائي للأرض.

١) إستجابة يابسة الأرض لتأثير قوى المد والجزر (مد وجزر اليابسة):

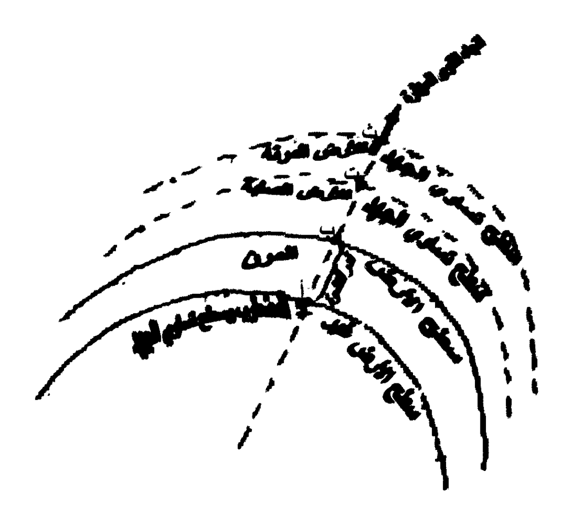
يعرف تأثر القشرة الأرضية بقوى المد والجزر القمرية - الشمسية بمد وجزر اليابسة، حيث يؤثر المد والجزر على يابسة الأرض وقيعان البحار والمحيطات كما لو كانت خالية من المياه. لو كانت الأرض جسما صلبا تام الصلابة، فلن تحدث قوى المد والجزر تشوها في جسم الأرض، لكنه ونظراً لأن قشرة الأرض ليست تامة الصلابة إنما تسلك مسلك الجسم المرن، أي أنها مرنة تقريبا، فإن جسم الأرض يتشوه ويتشكل تحت تأثير القوى المحدثة للمد والجزر محدثا مداً عاليا وجزراً منخفضاً تبعا للحركة النسبية للأرض بالنسبة للقمر والشمس، والمسافة بين الأرض وكل منهما. ويطلق على ذلك " التأثير التشوهي ليابسة الأرض". ويشمل التأثير التشوهي ليابسة الأرض تحت تأثير

قوى المد والجزر حدوث تشوهات داخلية بقشرة الأرض وحدوث تشوهات على سطح الأرض تؤدي إلى تغيرات زمانية ومكانية في المجال التثاقلي للأرض، كما تحدث تشوهات أرضية على هيئة إزاحات رأسية وإزحات أفقية وميول (إنحدارات) أرضية وتجمع إجهادات. وعلى ذلك فإنه لا يحدث فقط تغير في مجال التثاقلية الأرضية نتيجة لقوى المد والجزر القمرية - الشمسية بل يحدث أيضا تغير في شكل الأرض.

ويمكن دراسة تأثير قوى المد والجزر على يابسة الأرض من خلال رصد ثلاثة أنواع من التشوهات الناتجة عن قوى المد والجزر، هي:

- التغير في المد والجزر التثاقلي (المركبة الرأسية لعجلة تسارع قوى المد والجذر).
- الميول أو الانحناءات الأرضية الناتجة عن قوى المد والجزر عند سطح تساوي الجهد.
- إرتفاع أو إنخفاض سطح تساوي الجهد.

للتعرف على سلوك الأرض كجسم مرن، وتأثيرها على مجال التثاقلية الأرضية والاتجاه العمودي على سطح تساوي الجهدِ، دعنا نوضح ذلك على الشكل رقم (٢١). نتتبع معاً ما يحدث للموقع (أ) الموجودة على سطح الأرض الغير مضطرب (غير متأثر بأية إجهادات) والمتوافق مع سطح تساوي الجهد. تحت تأثير القوى الرأسية للمد والجزر، ينتقل سطح تساوي الجهد إلى المواقع (ت). لو أن الأرض جسم كامل المرونة فإنها تعمل إلى العودة



شكل رقم (٢١) : تشوة سطح الأرض تحت تأثير القوى الرأسية للمد والجزر .

لنفس الشكل السابق لسطح تساوي الجهد (عند الموقع أ) . نظراً لأن الأرض غير كاملة المرونة، فإنها لا تعود مرة أخرى إلى نفس الشكل السابق، لكنها تتكيف جزئيا مع سطح تساوي الجهد، لذا فإن الموقع (أ) على سطح الأرض يرتفع إلى الموقع (ب) بقدر من التشوه يتناسب مع القوى الرأسية للمد والجزر المؤثرة على الأرض.

يؤدي التشوه أيضا إلى تغير إضافي في سطح تساوي الجهد، لذا فإنه لا يمر عبر الموقع (ت) بل عبر الموقع (ث) . وهكذا فإنه تحت تأثير القوي الرأسية للمد والجزر على الموقع (أ) على سطح الأرض المتوافق مع سطح تساوي الجهد، يتغير السطح الطبيعي للأرض إلى الموقع (ب)، ويتغير

سطح تســاوي الجهـد إلى الموقع (ث). ويكون فرق الجهد الناتج عن تغير مستوى سطـح الأرض هو محصلة لثلاثة عناصر هي: جهد قوى المد والجزر المؤثر على الأرض - فاقد الجهد الناتج عن تشوه سطح الأرض - جهد التشوه الناتج عن تشـويه المد والجزر للأرض ،جهد الكتله المحصورة بين الموقع (أ) والموقع (ب).

ويجدر هنا أن نشير إلى أن السلوك المرن للأرض يختلف تبعا للترددات المختلفة لقوى التشوه المؤثرة على الأرض. ففي حالة الترددات العالية لقوى المد والجزر، يكون سلوك الأرض أقرب للصلابة منه إلى المرونة، وعلى العكس لو أن قوى المد والجزر المؤثرة ثابتة أو ذات مدي زمني طويل، فإن سلوك الأرض يكون مرنا.

وتسلك المياه في البحار، تحت تأثير قوى المد والجزر، سلوكا مغايراً لسلوك يابسة الأرض، فبينما تتحرك يابسة الأرض المرنة من الموقع (أ) إلى الموقع (ب)، فإن سطح المياه في البحار يتحرك من الموقع (أ) إلى الموقع (ث) (شكل رقم ٢١)، مع الأخذ في الاعتبار التأثيرات الديناميكية المختلفة للمياه في البحار والمحيطات.

وتبلغ أقصى قيمة تشوه محسوبة تحدثه القوى الرأسية للمد والجزر القمري ما بين- ١٧,٨سم و ٣٥,٨ سم، أما ما يحدثه المد والجزر الشمسي من تشوه فهو ما بين -٨,٢ سم و ١٦,٤سم . لذا فإن تذبذب سطح تساوى الجهد يصل إلى حوالي ٧٨,٠سم. وهذه القيمة تزيد عن القيمة الفعلية المحققة على الأرض.

أما المركبة الأفقية لقوى المد والجذر فتعرف على أنها قوى القص التي يمكن قياسها من التغير الرأسي الناتج عن المد والجزر وتسمى أحيانا " ميول المد والجزر ". ويبلغ أقصى إنحناء لسطح الأرض نتيجة لقوى المد والجزر القمرية ما بين - ٠,٠١٧ ً و ٠,٠١٧ ً ، أما تأثير قوى المد والجزر الشمسية فهي ما بين - ٠,٠٠٨ ً و٠,٠٠٨ ً . لذا فإن أقصى تغير في ميول (إنحناء) سطح الأرض نتيجة لقوى المد والجزر القمرية - الشمسية هو ٠,٠٥٠ ً ، ويمكن إهمال تأثير كواكب المجموعة الشمسية.

ويلزم هنا أن توضح أن الميول (الانحناءات) هي ظاهرة تحدث في إتجاهين متعامدين وقد يختلف مدى كل منها تبعا لاتجاهها بالنسبة للسطح الأفقي. ويمكن أن تكون القيمة العظمى للميول في إتجاه ما، وفي الاتجاه العمودي عليه قد تكون صغيرة. أما في الاتجاهات المتوسطة بينها فتكون الميول ما بين القيمة العظمى والصغرى.

ولإيضاح مدى تأثير قوى المد والجزر على عجلة التثاقلية الأرضية يتم ذلك من خلال دراسة جذب الأجرام السماوية المختلفة وتأثيرها على المواقع الأرضية " المد والجزر التثاقلي". ونأخذ في الاعتبار فقط المركبة الرأسية لقوى المد والجزر. يوضح الجدول رقم (٤) قيمة عجلة تسارع المد والجزر الناتجة عن القمر والشمس وبعض كواكب المجموعة الشمسية.

جدول رقم (٤)

قيمة عجلة تسارع المد والجزر الناتجة عن القمر والشمس وبعض كواكب المجموعة الشمسية

إسم الكواكب	عجلة تسارع المد والجزر
القمر	-٠,١١ ملليجال إلى ٠,٠٥ ملليجال
الشمس	-٠,٠٥ ملليجال إلى ٠,٠٣ ملليجال
الزهرة	≅ ١٠ $^{-٢}$ ميكروجال
المشترى	≅ ١٠ $^{-٣}$ ميكروجال
المريخ	≅ ١٠ $^{-٤}$ ميكروجال

من الجدول رقم (٤) نلاحظ أن قيمة عجلة تسارع المد والجزر صغيرة نسبيا بالمقارنة مع عجلة التثاقلية الأرضية. كما أن مدي التغير في مجال التثاقلية الأرضية نتيجة لقوى المد والجزر القمرية - الشمسية يبلغ حوالي ٠,٢٤ ملليجال، بينما عجلة تسارع المد والجزر الناتجة عن كواكب المجموعة الشمسية الثلاثة الأخر في الجدول رقم (٤) لايزيد عن ٠,٠٤ ملليجال، لذا فإنه يمكن إهمال تأثير كل من الزهرة والمشترى والمريخ على مجال التثاقلية كلية. هذا التغير في مجال التثاقلية الأرضية الناتج عن قوى المد والجزر القمرية - الشمسية يلزم معه إجراء التصحيحات الناتجة عنه عند إجراء المسح التثاقلي التفصيلي، ويمكن أن يتم ذلك من خلال:

- إستخدام الرصد الدوري لقيم التثاقلية الأرضية في محطة حقلية أساسية ويصحح تأثير المد والجزر كجزء من تصحيح حيود قراءات أجهزة الرصد التثاقلي (جرافيميتر)، أو
- إستخدام الجداول الخاصة بتصحيحات المد والجزر المحسوبة - التي تنشر في الدوريات العلمية، أو
- إستخدام برامج خاصة لحساب المد والجزر.

أما في حالة القياسات التثاقلية الدقيقة، فإن الطرق الثلاث سالفة الذكر تصبح غير ملائمة. لذا فإنه يلزم تسجيل المد والجزر التثاقلي باستخدام أحد أجهزة القياسات التثاقلية المعايرة جيداً في المنطقة المقرر إجراء قياسات تثاقلية دقيقة لها، ويفضل أيضا إجراء هذه القياسات في عدد من المحطات تغطي المنطقة الإقليمية المحيطة، على أن تجري هذه القياسات مدة تتراوح ما بين ٣ و١٢ شهراً. ويتم الاستفادة من بيانات تحليل سعات وأطوار الموجات المختلفة للمد والجزر وإنشاء نماذج حقيقية للمد والجزر التثاقلى، في إجراء التصحيحات اللازمة. وعند إنشاء النماذج الحقيقية للمد والجزر التثاقلى يلزم مراعاة تأثير حركة باطن الأرض ومكوناتها والمد والجزر البحري وأخذهما في الاعتبار.

ويوضح الجدول رقم (٥) التغيرات الفعلية التي تم تسجيلها لتأثير قوى المد والجزر على التثاقلية الأرضية والميل النسبي لسطح الأرض والرفع النسبي لسطح تساوى الجهد.



جدول رقم (٥)

أعلى معدل للتشوهات الأرضية المسجلة تحت تأثير قوى المد والجزر

نوع التشوه الأرضي	أعلى معدل
التغير في مجال عجلة التثاقلية	٠,٢٨ ملليجال
الميل النسبي لسطح الأرض	٠,٠١٧ً
الرفع النسبي لسطح تساوى الجهد	٥٣ سم

ويؤدى حدوث تشوهات لسطح الأرض تحت تأثير قوى المد والجزر إلى تغير المسافات على سطح الأرض إما بالقصر (تقلص) أو الزيادة (إستطالة). وهذا بدورة يؤدى إلى تغير الزوايا المحصورة بين هذه الأضلاع. والقيمة النسبية لهذا التغير تكون صغيرة جداً، ويصعب رصدها باستخدام طرق القياسات الجيوديسية العادية ويلزم لرصدها طرق أخرى أكثر دقة. كما أن رفع وخفض سطح الأرض نتيجة لتأثير قوى المد والجزر يؤثر أيضا، بقيمة ما، على التفلطح الدائم لسطح تساوى الجهد الذي يمثله إنخفاضا قدره حوالي ٢٨ سم عند القطبين وإرتفاعا قدره حوالي ١٤سم على إمتداد خط الاستواء.

١) إستجابة مياه البحار والمحيطات لتأثير قوى المد والجزر (المد والجزر البحري):

تتأثر المياه في البحار والمحيطات أيضا بالقوى المحدثة للمد والجزر، حيث يعرف التغير في مستوى سطح المياه في البحار نتيجة لهذه القوى بالمد والجزر البحري. على العكس من الاستجابة القليلة للقشرة الأرضية لقوى المد والجزر

تكون إستجابة المياه في البحار والمحيطات كبيرة ، وتكون منظومة المد والجزر البحري المكانية مركبة نظراً لاختلاف شكل وطبوغرافية قيعان البحار والمحيطات وميول الشواطئ، حيث يكون مدى المد والجزر البحري عند أي موقع مزيجا متداخلا من موجات المد والجزر اليومية والنصف يومية.

دون أن نأخذ في الاعتبار عدم تجانس المياه في البحار والمحيطات، تعمل المياه على الاحتفاظ بمستوى ثابت يتوافق مع سطح تساوى الجهد الأرضي، لذا فإن حركة المياه تحت تأثير قوى المد والجزر تستجيب لحركة سطح تساوى الجهد. ولا تتحقق هذه الاستجابة في كل الحالات، حيث أن المياه القادمة تحت تأثير المد والجزر تصطدم على إمتداد الشواطئ، نظرا لميول قيعان البحار والمحيطات بالقرب من الشواطئ. ويكون الاصطدام أكثر وضوحا في المناطق البحرية الضيقة الضحلة العمق، مثل الخلجان والمضايق، حيث تكون الفرصة سانحة لتعاظم سعات موجات المد والجزر عدة مرات فتصل إلى عشرة أمتار أو يزيد ، لذا يكون الفرق بين المد والجزر المرتفع والمد المنخفض متباينا عنه في المناطق البحرية المفتوحة. وقد سجل أقصى معدل لموجات المد في العالم (١٦,٣م) بمنطقة خليج فندي Fundy بكندا. وتكون سرعة موجات المد والجزر في المناطق البحرية المغلقة عالية، حيث تصل إلى أكثر من ٤٠ كم/ساعة. وفي الأحوال العادية يصل إرتفاع موجات المد في البحار والمحيطات إلى ١ متر تقريبا مرتين في اليوم، وسرعة موجات المد والجزر في البحار المفتوحة ما بين ٠,٠٢ إلى ٠,٠٥ متر/ثانية.

يوجد أيضا عامل أخر يؤثر على معدل المد والجزر ويجعله أكثر تعقيدا وهو الاحتكاك بين موجات المد وقاع المحيط. ونظراً لأن تغير دوران القمر

حول الأرض (حوالي ٥٠ دقيقة يومياً)، تعمل قوى الاحتكاك بين الأرض والمحيطات الموجودة فوق سطحها إلى سحب موجات المد شرقا في إتجاه حركة دوران الأرض.

٢) المد والجزر البحري التحميلي:

يطلق على تشوه قاع المحيط واليابسة المجاورة بالنسبة لاستجابة مياه المحيط لإعادة التوزيع والتجانس تحت تأثير المد والجزر البحري " المد والجزر البحري التحميلي ". وتسمى محصلة المد والجزر البحري والمد والجزر البحري التحميلي" المد والجزر البحري المرن". ويتأثر المد والجزر الأرضي بمد وجزر اليابسة والمد والجزر البحري التحميلي. وهذا التأثير يكون قويا عند المناطق الشاطئية عنه بمناطق اليابسة البعيدة عن الشواطئ، بسبب التأثيرات الديناميكية للبحار التي تكون قوية في المناطق الشاطئية الضحلة والمناطق البحرية الضيقة منها في المناطق البحرية المفتوحة.

٣) إستجابة الغلاف الهوائي لتأثير قوى المد والجزر:

لتفهم مدى إستجابة الغلاف الهوائي لتأثير قوى المد والجزر يلزمنا أن نتعرف على طبيعة الغلاف الهوائي، وهى كتله الهواء المغلفة للأرض. ونذكر أهمها فيما يلي:

- كثافة الهواء تقل مع زيادة الارتفاع حتى يتلاشى الغلاف الهوائي نهائيا، حيث أنه من المعلوم أن جاذبية الأرض تضعف مع زيادة الارتفاع.
- يزداد تأثير المجال المغناطيسي الخارجي للأرض مع الارتفاع، لذا فإنه يتحكم في سلوك مكونات الهواء في الفضاء (الحدود العليا للغلاف الهوائي)، حيث يتركز تجمع الجسيمات المتأينه من الغلاف الهوائي.

- العنصـر الطبـيعي الهام المؤثر على الغلاف الهوائي هو " حرارة الهـواء".

حيث أنه من المعلوم أن درجة حرارة الهواء على سطح الأرض تتغيـر من موقع إلى موقع، كما تتغيـر مع الزمن. وتتأثر حرارة الهـواء بدورتين: أولاهما سنوية، ترتبط بحركة الأرض حول الشمس، وثانيهما يومية، وترجع إلى حركة دوران الأرض اليومية حول محورها. أيضا تتغير حرارة الغلاف الهوائي بوضوح في الاتجاه الرأسي (تتناقص الحرارة مع الارتفاع).

- ضغط الهواء الجوى هو أيضا أحد العناصر الطبيعية الهامة، وتؤخذ كثافة الهواء مقياسا لضغط الهواء، وأعلى كثافة للهواء تبلغ حوالي ١٢٪ من كثافة الماء و ٤٪ من كثافة صخور سطح الأرض. ويقل الضغط الجوى مع الارتفاع. أيضا يتغير الضغط الجوى مع الوقت نتيجة للتغير في توزيع كثافات الهواء.

وتسمى التغيرات السريعة للغلاف الهوائي " ديناميكية الغلاف الهوائي"، وهي التي تتحكم في حركة جزئيات الهواء وكثافة الهواء،وتكون مصحوبة بالتغير في درجات الحرارة والضغط. وتلعب حركة الرياح دوراً أساسيا في التغيرات السريعة للغلاف الهوائي. وتعتبر ديناميكية الغلاف الهوائي من المجالات العلمية المعقدة.

راقب أحد العلماء مد وجزر الغلاف الهوائي من خلال رصد الضغط الجوى يوميا على إمتداد ثمان سنوات متتالية فلاحظ تأثر الهواء بالمد العالي حوالي الساعة العاشرة صباحا والعاشرة مساءاً من كل يوم والمد المنخفض في حوالي الساعة الرابعة مساءاً والرابعة صباحاً من كل يوم. ومع ذلك لم يجزم

بأن هذه الظاهرة ترجع إلى قوى المد والجذر بل إلى تداخل المد والجزر مع التشوهات الدورية لكتل الهواء التي ترتبط بالتغير الحراري وتؤدي إلى إرتفاع وهبوط الضغط الجوى. عامة أمكن للباحثين رصد ترددات نصف يومية تظهر تباينا في الضغط، وترددات أخرى متعددة سعاتها متغيرة تبعا للتغيرات التي تحدثها العناصر الأخرى المؤثرة على الغلاف الهوائي.

المد والجزر في كواكب المجموعة الشمسية

مثلما تتأثر الأرض بقوى المد والجزر نتيجة لجذب القمر والشمس وكواكب المجموعة الشمسية، تؤثر قوى المد والجزر على كواكب المجموعة الشمسية الأخرى. ويتباين تأثر كل كوكب من المجموعة الشمسية بقوى المد والجزر الناتجة عن الشمس وكواكب المجموعة الشمسية الأخرى ، حيث تكون قوى المد والجزر كبيرة عندما تكون الأجسام السماوية المؤثرة ذو كتلة كبيرة والمسافة بينها وبين الكوكب المتأثر بقوى المد والجزر قصيرة. ويختلف أيضا تأثير قوى المد والجزر المتولدة على الكواكب المختلفة تبعا لصلابة يابستها . أيضا تتأثر الكواكب التي يدور في فلكها أقمار تتبعها بقوى المد والجزر الناتجة عن هذه الأقمار تبعا لكتلة هذه الأقمار والمسافة بينها وبين الكوكب، وتختلف دورة المد والجزر وسعتها تبعا لعدد الأقمار التي تدور في فلك هذا الكوكب . ويوضح الجدول رقم (٦) أعداد الأقمار التابعة لكل كوكب من كواكب المجموعة الشمسية، ويبلغ عدد الأقمار بالمجموعة الشمسية ٦٨ قمراً .

ومن التأثيرات المعروفة عن قوى المد والجزر على كواكب المجموعة الشمسية نذكر منها ما تحدثه الشمس من إزاحة قوية على كوكب عطارد (أقرب الكواكب للشمس) تؤدى إلى إبطاء زمن دوران الكوكب حول محوره، حيث يدور كوكب عطارد حول محوره ثلاث مرات مقابل كل دورتين يدورهما كوكب عطارد حول الشمس.

جدول رقم (٦)

أقمار المجموعة الشمسية

إسم الكوكب	عدد الأقمار
عطارد	-
الزهرة	-
الأرض	١
المريخ	٢
المشترى	١٨
زحل	٢٣
اورانوس	١٥
نبتون	٨
بلوتو(*)	١ أو ٢ ؟

ومن الأمثلة المعروفة التي لاقت إهتمام الفلكيين تأثير قوى المد والجزر لكوكب المشترى (أكبر كواكب المجموعة الشمسية) على أحد أكبر أقمار هذا الكوكب ويسمى "أيو - Io"، وهذا القمر شبيه الأرض. من مجموعة الأقمار التي تدور حول المشترى، أربعة منها ذات أحجام كبيرة يتراوح نصف قطرها مابين ١٥٧٠ إلى ٢٦٣٠ كم، كما تتراوح كتلتها مابين ٤٨٠×١٠^{٢٠} و١٤٨٢١٠^{٢٠}كجم- ، وتسمى أقمار جاليليان نسبة إلى

(*) أقر الاتحاد الدولى الفلكى أثناء إجتماع جمعيته العمومية بمدينة براغ التشيكيه فى يوليو ٢٠٠٦ تغيير صفه بلوتو من كوكب إلى جسم سماوى.

جاليليو الذي إكتشفها عام ١٦١٠م. والقمر "أيو" ترتيبه الثالث في الكتلة والقطر بينها (نصف القطر = ١٨١٦ كم والحجم = ٨٨٩٤×١٠^٢٠ كجم). ومدار القمر "أيو" حول كوكب المشترى يبلغ من مركز المشترى تقريبا نفس مسافة القمر الأرضي من مركز الأرض. ونظراً لأن كتلة المشترى تفوق كثيرا كتلة الأرض (كتلة المشترى = ١,٨٩٩ × ١٠^٢٧ كجم ونصف قطر المشترى = ٧١٤٩٢ كم)، لذا فإن تأثير قوى المد والجزر من المشترى على القمر "أيو" أكبر كثيراً من تأثير قوى المد والجزر من الأرض على القمر الأرضي. يتولد مد وجزر على القمر "أيو" تحت تأثير جذب المشترى تبلغ سعته ضعف المد والجزر القمري المتولد على الأرض. لذا يعتقد العلماء أن قوى المد والجزر المؤثرة على القمر "أيو" تؤدى إلى ثنى صخوره وتولد حرارة عالية جدا بسبب إحتكاك صخور باطن هذا القمر وإنصهارها وتحرر العديد من البراكين التي ترى فوهاتها على سطح القمر "أيو".

تأثير قوى المد والجزر على الأرض والقمر

تعتبر ظاهرة المد والجزر من الظواهر الهامة في المجموعة الشمسية، وتساعد دراسة المد والجزر الأرضي في التعرف على ما يلعبه المد والجزر بالنسبة لديناميكية الأرض وقمرها . كما تساعد دراسات المد والجزر في المجموعة الشمسية من التعرف على التطور الديناميكي للمجموعة الشمسية. ومن أمثلة التطورات الديناميكية للأرض والقمر التي ساعدت عليها دراسات المد والجزر الأرضي مايلي :

- التغير في زمن دوران الأرض والقمر .
- التغير في مدار القمر .
- تباطئ حركة دوران الأرض .
- التغير في طول اليوم على الأرض
- تباعد الأرض والقمر .

١) المد والجزر يؤدى إلى إبطاء تدريجي لحركة دوران الأرض:

يؤثر المد والجزر على دوران الأرض لسببين رئيسيين الأول منهما ينتج عن الاحتكاك (المقاومة للمد والجزر) محدثا إبطاءاً طويل المدى لحركة دوران الأرض، والثاني منهما يحدث تحت تأثير الحركة المستمرة للمد والجزر على الأرض، محدثا تغيراً صغيراً جداً وسريعاً في حركة دوران الأرض.

أ) التغير طويل المدى يفرمل دوران الأرض :

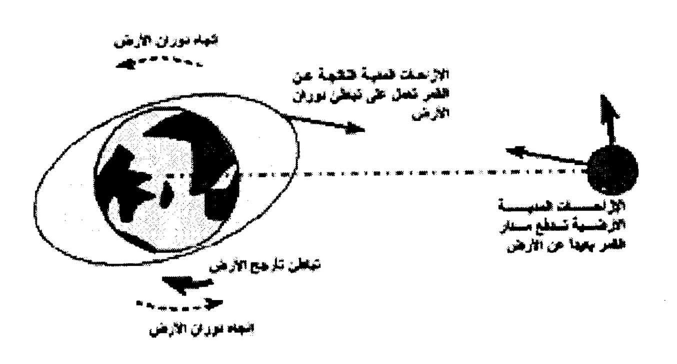
يعود التعرف على هذه الظاهرة إلى ٣٠٠ سنة مضت عندما تحدث أحد الباحثين عن أن القمر يتسارع في مداره، لكنه ثبت فيما بعد أن القمر يتباطئ

في مداره (أي تقل سرعته)، وأن الأرض أيضا تتباطئي في مدارها ، لكن التأثير الأكبر هو فرملة دوران الأرض، مما يوحى أن القمر يتسارع في مداره. ويؤدى هذا التباطئ في دوران الأرض إلى زيادة طول اليوم الأرضي بحوالي ٢,٣ مللي ثانية (٠,٠٠٢٣ ثانية) في اليوم كل قرن من الزمان ، لذلك فإنه، كما يعتقد العلماء، في خلال مائة مليون سنة سيزيد طول اليوم على الأرض بحوالي نصف الساعة. وتحدث هذه الفرملة بسبب المقاومة للمد والجزر (الاحتكاك) التي أثرت على الأرض على إمتداد تاريخها ومازالت مستمرة وتلعب دوراً هاما في حركة دورانها. نفس المؤثر يعمل أيضا على القمر ويؤدى إلى تباطئ دورانه، لكن معدله أقل من تباطئ دوران الأرض.

عندما تدور الأرض حول محورها تحت تأثير البروز المدى، فإنها تعمل على جر هذا البروز معها، ويؤدى الاحتكاك الكبير الناتج عن هذا الجر إلى إبطاء حركه دوران الأرض حول محورها. كما يؤدى الاحتكاك بين بروزات المد في المحيطات ويابسة الأرض أسفلها إلى تولد حرارة في المحيط، ومن هنا تأتى الطاقة التي تعمل على سخونة المياه في المحيطات. ونظراً لأن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، فانه عندما تتولد طاقة حرارية في المحيط ، تفقد الأرض في المقابل طاقة الدوران، لذا يحدث إبطاء لدوران الأرض حول محورها.

على الرغم من تباطئ حركة دوران الأرض حول محورها ، فإنها تحتفظ بوجهها المقابل للقمر. يرجع ذلك إلى أن قوى الجذب تعمل في إتجاهين متعاكسين، فكما يحدث القمر بروزاً مديا على الأرض، تحدث الأرض بروزا

مديا على القمر ، يؤدى إلى إبطاء دورانه حول محوره ، لذا تتوافق حركتي دوران كل من الأرض والقمر حول محوريهما وزمن دورانهما ، ويحتفظ القمر بوجه واحد تجاه الأرض (شكل رقم ٢٢) .



شكل رقم (٢٢) : تباطئ دوران الأرض حول محورها وإتجاه مدار القمر تحت تأثير الإزاحات المدية الأرضية .

وقد أثبت العلماء ظاهرة تباطئ دوران الأرض من جانبين ، الأول منهما فلكي ، عندما قارنوا تسجيلات الكسوفات الشمسية القديمة ولاحظو تغير زمن حدوثها قليلا ، حيث فسرت هذه الظاهرة معدل إبطاء حركة دوران الأرض حول محورها . أما الثاني فهو جيولوجي أحفوري ، نظرا لما هو معروف عن نمو المرجانيات على هيئة حلقات يومية وسنوية . عندما درس العلماء حفريات المرجانيات التي أعمارها ٤٠٠ مليون سنة إتضح أن طول اليوم آنذاك كان ٢٢ ساعة فقط وكان طول العام ٤٠٠ يوم . أما المرجانيات التي أعمارها ٢٤٠ مليون سنة فقد بينت أن طول اليوم على الأرض كان ٢٣ ساعة وطول العام على الأرض كان ٣٨١ يوما . أيضا أعطت دراسة بعض الصخور

الرسوبية الشاطئية مؤشرا على فترات المد والجزر البحرية وأوضحت أن طول اليوم منذ حوالي ٩٠٠ مليون سنة مضت كان ١٨ ساعة فقط. وحيث تؤكد هذه الدراسات مجتمعه أن طول اليوم كان أقصر مما هو عليه الآن، فهذا يعنى أن دوران الأرض حول نفسها كان أسرع منه الآن. إلا أن العديد من الباحثين يعتقدون أن طول السنة ظل كما هو تقريبا، نظرا لارتباطه بدوران الأرض حول الشمس وليس دورانها حول محورها.

في الوقت الحالي، ونظرا لما هو معروف عن إبطاء حركة دوران الأرض، نتيجة لتأثير المد والجزر، فإنه يضاف كسر من الثانية لطول اليوم كل فترة زمنية ما لضبط تأثر طول اليوم بالإبطاء في حركة دوران الأرض حول محورها.

ب) التغير السريع لدوران الأرض:

أمكن التعرف على هذا التغير في السنوات الأخيرة، عندما تطورت وتقدمت طرق قياس التغير اليومي ونصف اليومي لحركة دوران الأرض ومقارنته بالتغير في المد والجزر، حيث أظهر التغير السريع لحركة دوران الأرض توافقا مع التغير في دورات المد والجزر اليومية والنصف يوميه. وأمكن التعرف على أن المد والجزر يحدث تغيرا سريعا في دوران الأرض بوسيلتين هما:

- عندما يؤدى المد والجزر إلى حركة المياه حول المحيطات تتغير حركة القصور الذاتي للأرض مع إحتفاظها بالقوة الدافعة لحركتها، لذا يتغير معدل حركة دوران الأرض الصلبة نتيجة لذلك.

- عندما تتباطئ أو تتسارع سرعة موجات المد والجزر ، يؤدى ذلك إلى تغير القوة الدافعة للأرض الصلبة ، والذي يظهر على هيئة تغير في معدل حركة دوران الأرض.

بجانب تأثير هاتين العمليتين على التغير في معدل دوران الأرض حول محورها فإنهما يؤديان أيضا إلى حركة تأرجح القطبين. تأثير العامل الأول منهما رئيسي بالنسبة لدوران الأرض, أما العاملين معا فيؤثران بدرجة متساوية على تأرجح القطبين.

٢) المد والجزر يؤدى إلى زيادة سعة مدار القمر:

يؤدى فقدان الأرض لسرعة دورانها بدوره إلى تقهقر القمر عن الأرض بحوالي ٣,٨ سم سنويا(٣,٨م كل قرن من الزمان) . لذلك يعتقد العلماء بأنه في خلال مائة مليون سنة سيتباعد القمر عن الأرض ما يزيد عن ٣٠٠٠ كم. وينتج ذلك عن الاحتكاك بين طبقات المياه في المحيطات وسحب البروزات المدية في إتجاه الشرق (إتجاه دوران الأرض حول محورها) بعيدا عن الخط المباشر للأرض والقمر. ونظراً لأن البروزات المدية كتلتها كبيرة لذا فان مجال جذبها بدفع القمر إلى الأمام في مداره ويزيد من سرعته ، مما يمنح القمر تسارعا إضافيا قليلا. نتيجة للتسارع الإضافي للقمر، يتزحزح القمر تدريجيا إلى خارج مداره (شكل رقم ٢٢)، وتدريجيا تزداد المسافة بين الأرض والقمر. وقد تمكن الفلكيون من رصد إنحسار القمر عن مداره باستخدام رصد القمر بأشعة الليزر.

هذه الزيادة في سعة مدار القمر غير سريعة وقليلة ، لكن في المستقبل البعيد (حوالي ٥٠ مليون سنه) يعتقد العلماء أن هذه السعه ستتضاعف وسيكون نظام الشمس - الأرض - القمر مختلفا عن صورته الحالية فيما يلي :

- تزداد المسافة بين الأرض والقمر زيادة كبيرة عنها حاليا .
- لن يحدث كسوف كلي ، نظراً لأن الحجم الزاوي للقمر سيكون صغيراً عنه للشمس .
- سيصل طول الشهر القمري إلى ٤٧ يوما من أيام الأرض ، نظرا لاتساع مدار القمر وإنحساره عن الأرض .
- سوف تحتفظ الأرض بوجه واحد مقابل للقمر ، كما يحتفظ القمر بوجهه المقابل للأرض ، بحيث يرى القمر من جانب واحد للأرض ولا يرى من الجانب الأخر .

٣) هل تساعد قوى المد والجزر على تفجر زلازل وبراكين؟

هناك إتجاه علمي إلى إعتبار القوى الكونية مسئولة عن بعض الكوارث الطبيعية التي تؤثر على الحياة البشرية على الأرض ، ومنها :لقوى التي تحدثها الشمس وكواكب المجموعة الشمسية على الأرض ، خاصة القمر الذي يعزى إليه دور رئيسي في هذا المجال .

في بداية القرن الماضي طرح هذا التساؤل : هل تسبب الإجهادات التي تحدثها قوى المد والجزر الأرضي ، كأحد القوى المؤثرة علي الأرض ، في تفجر الزلازل وانطلاق البراكين وإنسياب الطفوح البركانية ؟ ، إلا أنه بعد مائة عام

من التفكير والتأمل والبحث، لم يصل العلماء إلى إجابة شافية على كل التساؤلات المطروحة. ومع أن الدراسات والبحوث في هذا المجال لم تصل إلى نتيجة قاطعة، إلا أنه من الأهمية في معرض حديثناعن المد والجزر أن نستعرض معا ملخصا لهذه الدراسات ونتائجها والمستقبل العلمي لهذه الدراسات في مجال توقعات النشاط البركاني والزلزالي:

- إستخدم بعض العلماء سجلات الزلازل التاريخية مع أرصاد المد والجزر، وأجريت الدراسات على الزلازل الكبيرة التي حدثت على الصدوع القريبة من الشواطئ، خاصة منها الصدوع المطوية. أجريت مضاهاة بين زمن حدوث هذه الزلازل وحدوث المد العالي والجزر المنخفض، وإستنتجوا أن الزلازل تحدث بنسبة ١ : ٤ مع المد والجزر على الترتيب.

ومع هذه النتيجة التي تبدو إيجابية إلا أنها لاقت إعتراضا من كثير من العاملين في مجال دراسات الزلازل لأسباب أهمها: أن المد العالي لا يزيد عن ٢م إرتفاعا في المتوسط وإن كان لا يعدو كونه " القشة الأخيرة " لتحرر طاقة صدع واقع فعلا تحت تأثير طاقة عالية للإجهاد، فإنه لا يمكن تجمع طاقة إجهاد يومي من إجهادات المد والجزر تكون كافية لتفجرها.

- أخذ بعض الباحثين في إعتبارهم الزلازل الكبيرة المسجلة (٥,٥ درجة على مقياس ريختر فأكثر) ذات البؤر القريبة من السطح والتي حدثت على صدوع مطوية على إمتداد الشواطئ. من نتائج المضاهاة مع تسجيلات المد والجزر وجدوا أيضا أن عدد كبير منها قد حدث مع المد العالي وقليل منها مع الجزر المنخفض. إلا أن هذه النتائج أيضا لاقت إعتراضا من آخرين نظراً لإجرائها على مناطق محددة وعينات قليلة.



- يرى بعض الباحثين أن التغير الدوري في الإجهادات الناتجة عن المد والجزر قد تصل إلى سعة ما، إلا أنها تظل صغيرة إذا ما قورنت بالإجهادات التكتونية المؤثرة على قشرة الأرض وطبقاتها العميقة. ومع ذلك لا يمكن إهمال التغير في معاملات الإجهادات العالية الناتجة عن المد والجزر التي تتداخل مع الإجهادات التكتونية التي تتزايد تدريجيا، وفي كونها قد تكون مفجراً للحدث الزلزالي.

- معظم النشاط الزلزالى الذي توافق مع دورات المد كان مع أعلى مد (مد الحضيض - أي وصول المسافة بين القمر والأرض إلى أدناها).

- بعض الباحثين إستخدم نتائج الحل الميكانيكي للزلازل وأعماق الزلازل لإجراء المقارنة مع دورات المد والجزر إلا أن النتائج أظهرت تضاربا وتعارضا كبيراً.

- كان من الصعب علي الباحثين تطبيق ما أجروه من دراسات على علاقة المد والجزر بتفجر الزلازل على إنطلاق البراكين والطفوح البركانية لسببين هما: الأول منها أن عدد البراكين والطفوح البركانية قليل مما يصعب المضاهاة الإحصائية خاصة بالنسبة لتكرر البركان الواحد، والثاني منها هو عدم التمكن من تعيين وقت بدء الانفجار البركاني أو إنطلاق الطفوح البركانية بدقة عالية تساعد على المقارنة مع دورات المد والجزر خاصة الدورة نصف اليومية. لذا فإن بعض النتائج أمكن قبولها، خاصة مع أعلى مد نصف شهري، والبعض الآخر من النتائج تم رفضه.

لذا فإنه على الرغم من أن الدراسات التي أجريت على علاقة الزلازل والبراكين بدورات المد والجزر أظهرت نتائج إيجابية وسلبية متساوية تقريباً،

إلا أن النتائج الايجابية بالنسبة للزلازل قد ظهرت في حالات خاصة من الزلازل منها الحشود الزلزالية، كما ظهرت النتائج السلبية في حالة الزلازل الإقليمية القوية. أما في حالة البراكين فقد كانت معظم النتائج إيجابية إلا أنها تعاني من ضعف العملية الإحصائية نظراً لقلة الأحداث البركانية. وغالبية النتائج لا يمكن الاعتداد بها كظاهرة حقيقية لتأثير قوى المد والجزر. لذا فإن غالبية المتخصصين في مجالات الزلازل والبراكين يرون أنه لا يوجد مضاهاة واقعية بين قوى المد والجزر وتفجر الزلازل والبراكين والطفوح البركانية، وأن الباب ما زال مفتوحا لمزيد من الدراسات والبحوث في هذا المجال.

٤) تأثير المد والجزر على تذبذب مستوى المياه الجوفية:

أوضحت الدراسات التي أجريت على تغير مستوى المياه الجوفية في الآبار الجوفية العميقة المحفورة في مناطق صخرية خازنة للمياه الجوفية وغير مقيدة، حدوث تذبذب في مستوى المياه الجوفية. بعد أن أخذ في الاعتبار معدل تجدد هذه المياه الأرضية ومعدل السحب منها وجد أن متبقية هذا التذبذب لها مضاهاة عالية مع المد والجزر الأرضي لا يمكن إهمالها. هذه الظاهرة أمكن مراقبتها في العديد من الآبار، كما وجد أن السبب الرئيسي لحدوث هذا التذبذب هو موجات المد الشهرية والنصف شهرية.

دراسة المد والجزر الأرضي

تشمل دراسات المد والجزر الأرضي الحساب المباشر للمد والجزر باستخدام نماذج أرضية مختلفة، وتسجيل التشوهات الناتجة عن المد والجزر سواء الميول (الانحدارات الأرضية) أو المد والجزر التثاقلي وتحليل البيانات ومضاهاة البيانات النظرية والعملية.

١) حساب المد والجزر الأرضي:

يعتمد الحساب المباشر للمد والجزر عند موقع أرضي ما، على موقع القمر والشمس وكواكب المجموعة الشمسية الأخرى (إذا لزم الأمر) بالإحداثيات الفضائية، مع الأخذ في الاعتبار حركة دوران الأرض. وحساب المد والجزر على اليابسة أسهل كثيراً من حساب المد والجزر البحري، نظراً لأن الأرض أكثر تماسكا من المياه. كما أنها ذو شكل أكثر بساطة من قيعان المحيطات التي يصعب معرفة مدى مقاومتها لقوى المد والجزر.

في حسابات نماذج المد والجزر، تتدرج هذه النماذج بين البساطة والتعقيد. حيث يفترض في بعض الحالات أن الأرض كروية الشكل ، لاتدور، مرنة ، متجانسة ، بدون محيطات. وهذا يؤدى إلى حدوث بعضا من الحيود في الحسابات عما هو في الواقع ، حيث أن الأرض ليست تامة الكروية ، وعباءة الأرض ليست مرنه. كما أن معظم الحيود في الحسابات ينتج عن فرض عدم وجود محيطات على الأرض، حيث أنه في الواقع يوجد محيطات على سطح الأرض ، هذه المحيطات تقاوم جهد المد والجزر. كما أن حركة يابسة الأرض وتشوهاتها تؤثر أيضا على دقة حسابات المد والجزر.

أ) النموذج المبسط لحساب المد والجزر:

يفترض في هذا النموذج أن الأرض كوكب مغطى كاملاً بمياه محيط ذا عمق واحد، وعدم وجود إحتكاك بين مياه المحيط واليابسة أسفله، أي أنه نموذج متجانس للأرض.

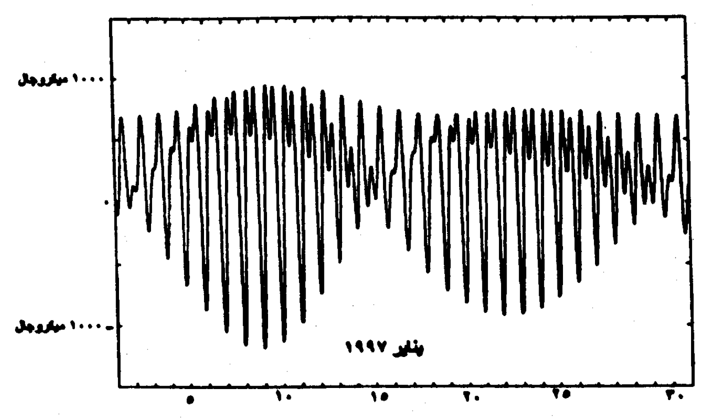
ب) النموذج الحقيقي لحساب المد والجزر:

حقيقة الأمر أكثر تعقيداً من النموذج المبسط للمد والجزر نظراً لما يلى:

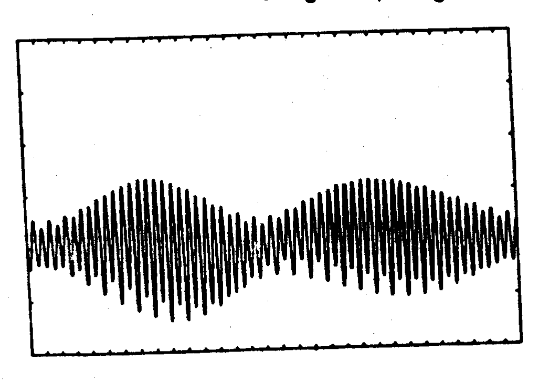
- الأرض والقمر ليسا ساكنين، لكنهما يأخذان مدارين في النظام الشمسي (المجموعة الشمسية).
- الأرض غير مغطاة كاملة بمياه المحيطات، كما أن المحيطات تتفاوت أعماقها، ويوجد إحتكاك بين مياه المحيطات ويابسة الأرض.

هذا الوضع يجعل الأمر أكثر تعقيداً، ويؤدى إلى حدوث بعض الاختلافات مابين النموذج الحقيقي والنموذج المبسط .

وتستخدم هذه النماذج لحساب المد والجزر التثاقلى عند المواقع المختلفة على سطح الأرض. مثال ذلك الشكل رقم (٢٣) الذي يمثل المد والجزر التثاقلى المحسوب لشهر يناير ١٩٩٧ لنموذج الأرض الصلبة لموقع عند خط عرض ٤٨,٣٣٠٦ ° شمالا وخط طول ٨,٣٣٠٠ ° شرقاً وإرتفاع ٥٨٩ م عن سطح البحر أما الشكل رقم (٢٤) فيمثل عجلة تسارع المد والجزر محسوبا عند نفس الموقع ولنفس الشهر.



شكل رقم (٢٣) : المد والجزر التثاقلي لشهر يناير ١٩٩٧ محسوباً لنموذج الأرض الصلبة لموقع عند خط عرض ٣٣٠٦و٤٨° شمالاً وخط طول ٣٣٠٠و٨° شرقاً وإرتفاع ٥٨٩ م عن سطح البحر.



شكل رقم (٢٤) : عجلة تسارع المد والجزر لشهر يناير ١٩٩٧ محسوبا لنموذج الأرض الصلبة لموقع عند خط عرض ٣٣٠٦ و٤٨° شمالاً وخط طول ٣٣٠٠و٨° شرقاً وإرتفاع ٥٨٩م عن سطح البحر.



٢) رصد المد والجزر:

يمكن رصد وتسجيل الحركة المتولدة في يابسة الأرض نتيجة تأثير قوى المد والجزر، بدرجة واضحة في إنحدار الأرض وهو مؤشر دائم طوال الوقت لتأثير المد والجزر، أو من رصد وتسجيل التغير في مجال التثاقلية الأرضية أو التشوهات الأرضية المحلية. أما المد والجزر البحري فتسجله آلاف المحطات على إمتداد شواطئ الكرة الأرضية. وتساعد تسجيلات المد والجزر البحري في دراسة سلوك المد والجزر وتباينه في البحار والمحيطات المختلفة.

(أ) أجهزة تسجيل المد والجزر على يابسة الأرض:

رصد وتسجيل الميول (الانحناءات):

لرصد ميول يابسة الأرض الناتجة عن قوى المد والجزر، يلزم مراقبة الزاوية المكانية بين الاتجاه الرأسي المحلى (إتجاه عجلة التثاقليه) والخط الممثل للموقع على الأرض. وهكذا فإن أي جهاز حساس لاتجاه عجلة التثاقل، متصل جسمه بصخور الأرض الصلبة، يمكن إستخدامه لرصد التغير في ميول يابسة الأرض.

لذا فانه يمكن إستخدام نظامين رئيسيين، الأول منهما هو البندول المعلق في إطار متصل بالأرض، والثاني ميزان المياه الأفقي. نظرا لأن قدر التغير في ميول الأرض الناتج عن المد والجزر صغير نسبيا، حوالي ٠,٠١٧ ً كقيمة مطلقة، فإنه يلزم أن تكون أجهزة الرصد على درجة بالغة من الحساسية للحصول منها على نتائج جيدة، ويفضل أن تكون أجهزة قياس الميول (الانحدارات) ذات حساسية تصل إلى ± ٠,٠٠٠٢ ً على الأقل.

دقه كهذه يمكن الحصول عليها باستخدام البندول الرأسي الطويل فقط، وهو ما يصعب تحقيقه فعليا. لذا يمكن تحقيق ذلك من خلال تثبيت البندول أفقيا، حيث أن بندول قصير مثبت أفقيا يمكن أن يحقق كفاءة بندول رأسي طويل جداً. هذا النوع يسمى " بندول أفقي " ويستخدم عادة لرصد ميول الأرض، وعادة ما يستخدم جهازان من نفس النوع لتسجيل ورصد التغير في ميول الأرض في إتجاهي متعامدين (عادة إتجاه شمال- جنوب وإتجاه شرق- غرب).

أما النوع الثاني من أجهزة رصد الميول (الانحدارات) فهو مؤسس على تسجيل التغير في سطح السائل نتيجة لانحناء الأرض وتسمى " أجهزة قياس الميول المائية الاستاتيكية أو الحدار" . هذه الأجهزة يمكن أن تكون على أشكال وأطوال مختلفة، ويستخدم فيها سوائل مختلفة. النوع الشائع منها يتكون من حاويتين متصلتين بأنبوب، ويمكن قياس الفرق في مستوى سطح السائل باستخدام طرق متعددة. ويتم رصد الانحدار (الميل) في الاتجاه العمودي على الخط الواصل بين الحاويتين (شكل رقم ٢٥). يلزم إستخدام جهازين منها لوضعهما في إتجاهين متعامدين (شمال- جنوب وشرق-غرب) لرصد الميول في هذين الاتجاهين.

رصد وتسجيل التغير في مجال التثاقلية الأرضية :

لرصد التغير في المد والجزر التثاقلي يستخدم أجهزة قياس التثاقلية الأرضية ذات الحساسية العالية جداً. نظراً لأن التثاقلية الأرضية تتغير في مدى ± ٠,٢ ملليجال، لذا يلزم أن تكون دقة أجهزة القياسات التثاقلية المستخدمة في دراسة المد والجزر كافية للإحساس بهذا التغير، أي تكون

دقتها مقدره بكسور الميكروجال. وهذه الدقة تحوزها حاليا معظم أجهزة القياسات التثاقلية الحساسة.

ولا يختلف التصميم الداخلي لأجهزة قياس المد والجزر التثاقلي عن الأنواع العادية من أجهزة قياس التثاقلية الأرضية ، ويكون الفرق فقط في حساسية الأجهزة وإستخدام أجهزة مساعدة لقراءة البيانات وتسجيلها رقميا. ولا يلزم لتثبيت أجهزة قياس المد والجزر التثاقلي ما يلزم لأجهزة قياس الميول من تثبيت الجهاز على صخور القاعدة ، بل يلزم وضعه في مكان ثابت في حدود تغير لا يزيد عن ١م فقط بالنسبة للارتفاع ، حيث أن تغيراً قدرة ١ ميكروجال يعود إلى ما يقرب من ٣م تزحزح رأسي. الأمر الهام بالنسبة لأجهزة قياس عجلة التثاقلية الأرضية، كما هو أيضا بالنسبة لأجهزة رصد الميول ، هو المعايرة الجيدة للأجهزة.

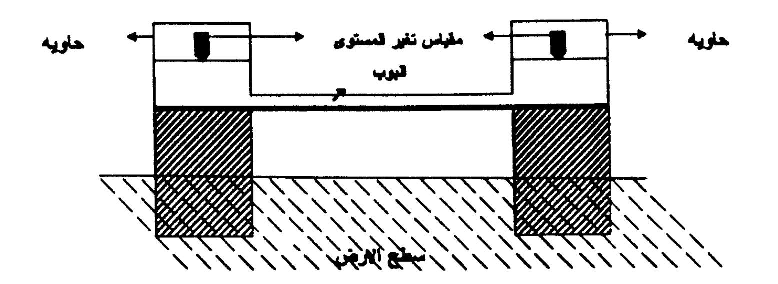
(ب) أجهزة رصد وتسجيل المد والجزر البحري:

يسجل المد والجزر البحري بالقرب من الشواطئ باستخدام أجهزة قياس المد والجزر. يمثلها للتبسيط الجهاز الموضح بالشكل رقم (٢٦أ) الذي يتكون من عوامة تطفو على سطح مياه المحيط وعداد لحساب حركة إرتفاع وإنخفاض العوامة. أما الرسم بالشكل رقم (٢٦ب) فيمثل موجات المد والجزر المسجلة. وأجهزة قياس المد والجزر الحديثة قمة في التطور التقني، حيث يتم حساب التغير في إرتفاع وإنخفاض مستوى سطح المياه في المحيط (حركة العوامة) باستخدام طرق رصد متعددة، منها أشعة الليزر، وحساب التغير وتسجيله رقميا على الحاسب الآلي المتصل بمحطة الرصد.

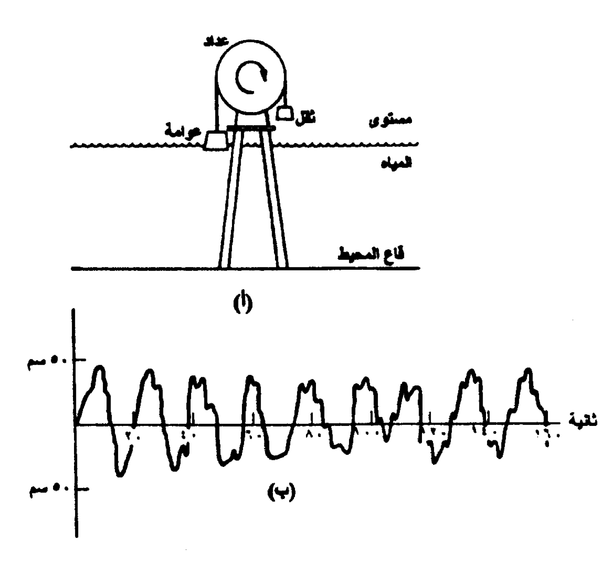
ويوضح الشكل رقم (٢٧) أحد تسجيلات المد والجزر البحرية التي تمثل تداخل التردد الرئيسي للمد والجزر القمري والتردد الرئيسي للمد والجزر الشمسي التي يحدث عنها تكبير المد العالي وتصغير المد المنخفض. كما يمثل الشكل رقم (٢٨) أربعة تسجيلات للمد والجزر في أربعة مواقع مختلفة: شكل (٢٨أ) مد وجزر نصف يومي، وشكل (٢٨ب) مد وجزر يومي متداخل وشكل (٢٨ج) مد وجزر متداخل، وشكل (٢٨د) مد وجزر يومي.

٣) تحليل بيانات أرصاد المد والجزر:

نظرا لأن تغير الميول المسجلة بأجهزة قياس الميول والانحدارات الأرضية. وتغير قيم عجلة التثاقلية المسجلة بأجهزة قياس التثاقلية الأرضية، وتغير مستوى المياه في البحار والمحيطات المسجلة بأجهزة قياس المد والجزر تتغير مع تغير ترددات القوى المسببة لهذا التغير، فإنها تشمل نتائج متباينة تمثل الموجات المختلفة للمد والجزر. لذا فانه بتحليل البيانات المسجلة يمكننا التعرف على الترددات المختلفة لموجات المد والجزر. ويمكن إستخدام التحليل الطيفي لبيانات المد والجزر المسجلة للتعرف على الترددات المشمولة بها. وقبل إجراء التحليل الطيفي يلزم تخليص البيانات المسجلة من الشوشرة المؤثرة عليها، خاصة وأن سعة الشوشرة عادة تكون أكبر من سعة موجات المد والجزر المسجلة. ويمكن إجراء فصل الشوشرة بإستخدام طرق فصل رياضية وإستخدام التحليل الطيفى للمركبة المتبقية للحصول على سعات وأطوار المكونات المختلفة للمد والجزر ومضاهاتها بالسعات والأطوار المحسوبة من نماذج المد والجزر المختلفة، وتستمر عملية الفصل والتحليل حتى تتوافق السعات والأطوار الناتجة بالسعات والأطوار المحسوبة.



شكل رقم (٢٥) : جهاز قياس الميول (المحدار) .

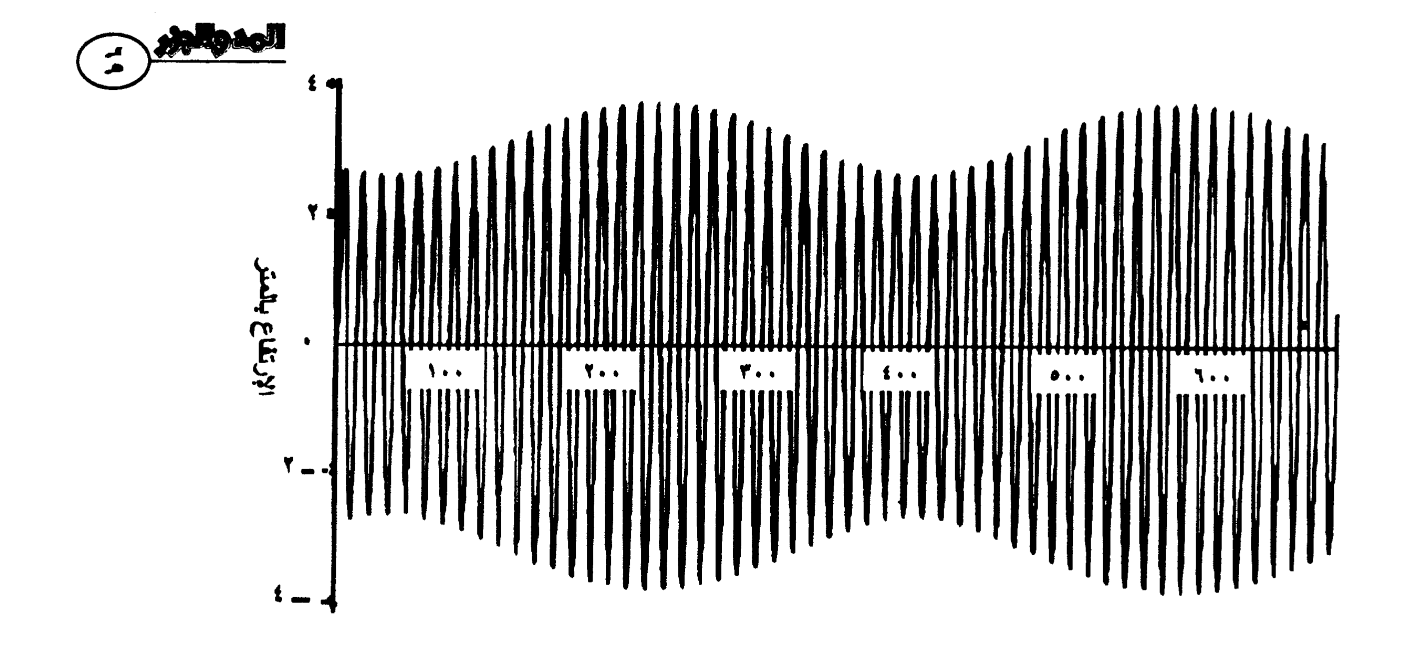


شكل رقم (٢٦) : جهاز قياس المد والجزر البحري .

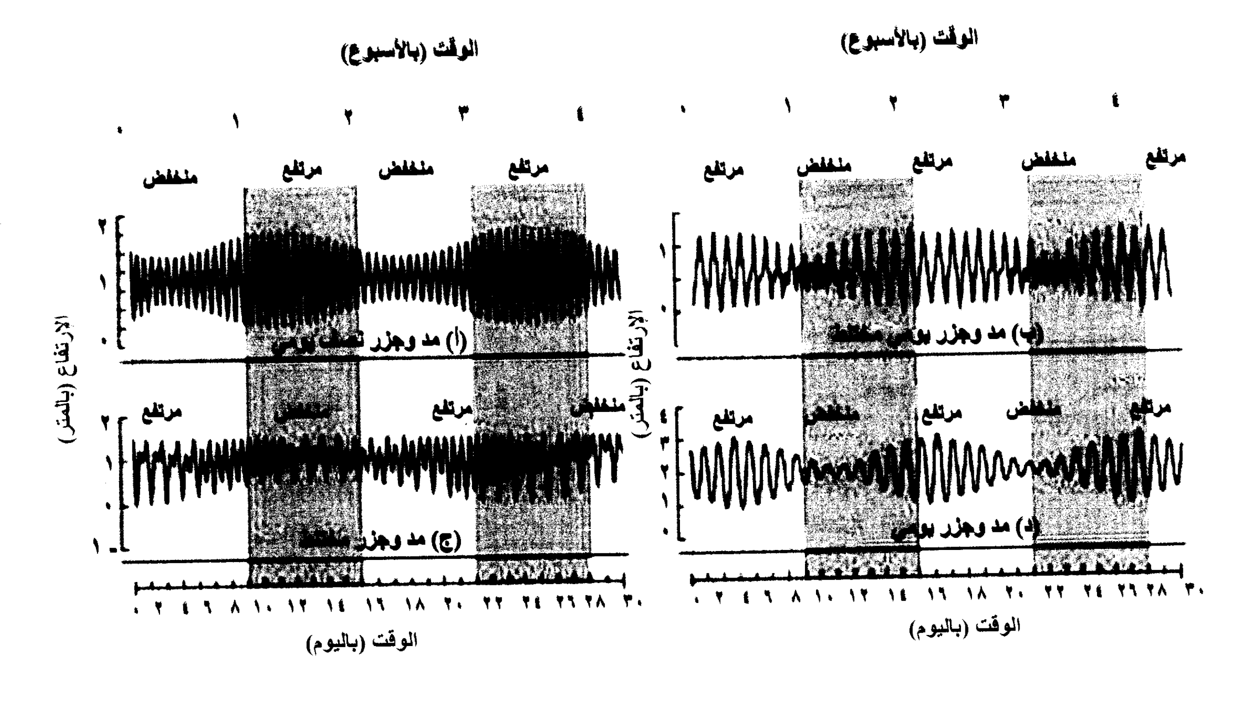
(أ) رسم مبسط لجهاز قياس المد والجزر البحري

(ب) تسجيل لموجات المد والجزر البحري





شكل رقم (٢٧) : أحد تسجيلات المد والجزر البحرية تمثل تداخل التردد الرئيسي للمد والجزر القمري والتردد الرئيسي للمد والجزر الشمسي التي يحدث عنهما تكبير المد العالي وتصغير المد المنخفض .

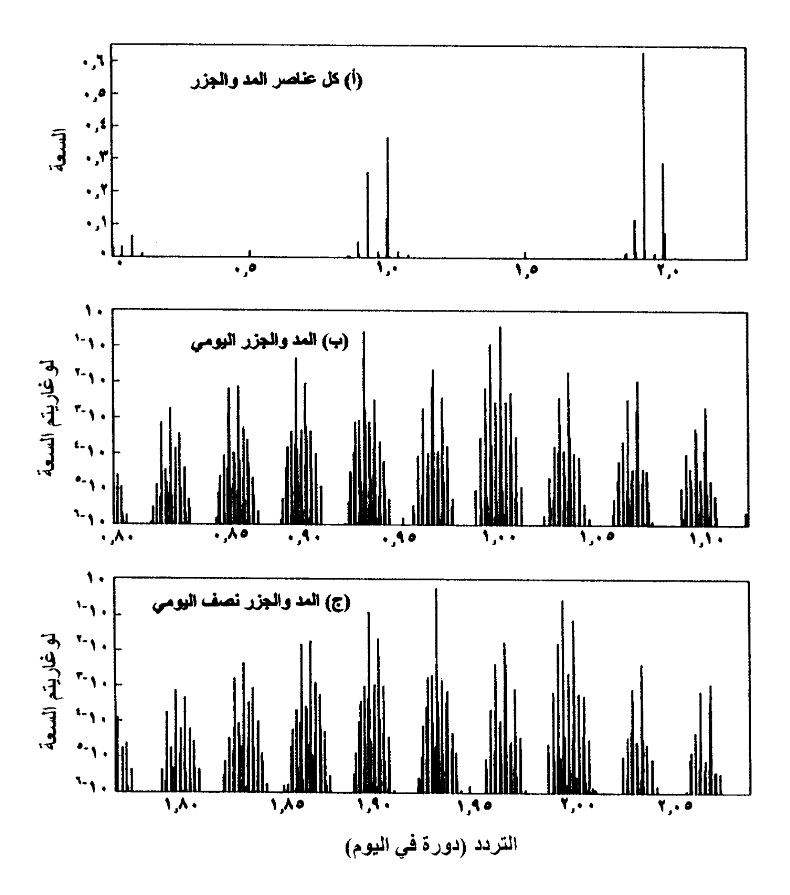


شكل رقم (٢٨) : أربعة تسجيلات مختلفة لموجات المد والجزر البحرية .

التحليل الطيفي لبيانات المد والجزر:

تمكن طريقة التحليل الطيفي من تمثيل المد والجزر والتعرف على الترددات والسعات المشمولة في بيانات المد والجزر. إستخدمت هذه الطريقة أولا لتحليل بيانات المد والجزر البحري، وتم تطبيقها فيما بعد على مد وجزر يابسة الأرض. يمثل الشكل رقم (٢٩) أطياف سعات المد والجزر بالنسبة للترددات المختلفة . الشكل رقم (٢٩أ) يمثل كل مكونات المد والجزر مقسمة إلى عدة أنواع مختلفة الترددات تمثل المد والجزر طويل المد والجزر اليومي والمد والجزر نصف اليومي. أما الشكلان (٢٩ب،ج) فيمثلان المد والجزر اليومي والمد والجزر نصف اليومي على الترتيب بإستخدام مقياس صغير ليشتمل الشكلين على المكونات الصغرى للمد والجزر. من الشكلين (٢٩ب،ج) نلاحظ أن كل نوع من المد والجزر، اليومي والنصف يومي، مقسم إلى مجموعات من السعات، كل مجموعة منها لها ترددات صغرى.



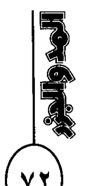


شكل رقم (٢٩) : التحليل الطيفي لعناصر المد والجزر

(أ) كل عناصر المد والجزر

(ب) المد والجزر اليومي

(ج) المد والجزر نصف اليومي



تأثر تسجيلات الميول والتثاقلية الأرضية بمؤثرات أخرى

في كثير من الأحوال تتضمن تسجيلات الميول الأرضية وعجلة التثاقلية شوشرة عالية تحدث عن العديد من المؤثرات. نظراً لتعدد تقنيات فصل الشوشرة، فإنه من الملائم التعرف على نوعيتها قبل التعامل معها لاستبعادها، والشوشرة التي تتداخل عادة مع تسجيلات الميول وعجلة الجاذبية الأرضية ثلاثة أنواع هي:

- شوشرة في حدود ترددات المد والجزر.
- شوشرة ذات ترددات مخالفة عن الترددات المد والجزر.
- شوشرة غير دورية.

ويمكن فصل الشوشرة من النوعين الثاني والثالث جيداً بإستخدام طرق الفصل سواء كانت تسجيلات للميول أو العجلة التثاقلية الأرضية. أما النوع الأول منها وهي التسجيلات المتداخل فيها شوشرة لها نفس الترددات، فإنه يمكن تلاشيها بإستخدام طرق فنية بسيطة تتعامل مباشرة مع هذه الترددات.

وتحدث شوشرة النوع الأول أو تتداخل مع تسجيلات الميول وعجلة التثاقلية الأرضية. نتيجة لبعض المؤثرات منها:

- المد والجزر البحري.
- مؤثرات دورية.
- مؤثرات غير دورية.

١) تأثير المد والجزر البحري:

يكون تأثير المد والجزر البحري على تسجيلات مد وجزر يابسة الأرض قوياً بالقرب من المناطق الشاطئية، ويقل تأثيره في عمق اليابسة. ويمكن

للمد والجزر البحري أن يتداخل مع عناصر مد وجزر يابسة الأرض التي لها نفس الترددات.

وظاهرة المد والجزر البحري أكثر تعقيداً من مد وجزر يابسة الأرض، بسبب التأثيرات الديناميكية للبحار والمحيطات، التي تكون قوية خاصة في المناطق الشاطئية الضحلة أو بالقرب منها. حيث يعمل المد والجزر البحري على تشوه سعات وترددات مد وجزر اليابسة إلي درجة كبيرة. ويؤثر هذا النوع من التشوه على ميول (إنحدار) الأرض، كما يؤثر على التثاقلية الأرضية لسببين هما:

- ثقل طبقات المياه يؤدي إلى إنخفاض سطح الأرض، والانخفاض بدوره ينعكس على تغير سطح تساوي الجهد (شكل رقم ٣٠).

- طبقات المياه تمثل كم هائل من المادة، يؤدي إلى جذب تثاقلي للمادة من حولها.

وقد لاحظ عدد من العلماء أن هذين التأثيرين للمد والجزر قد يصل مداهما عدة مرات مثل تأثير مد وجزر يابسة الأرض. لذا يلزم الاحتياط لهذا الأمر عند إجراء القياسات الجيوديسية الدقيقة والقياسات التثاقلية الدقيقة بالقرب من المناطق البحرية المتأثرة بالمد المرتفع.

وتساعد دراسة المد والجزر البحري في التعرف على طبيعة المناطق البحرية والخواص الفيزيائية للقشرة الأرضية، خاصة السلوك المرن لقشرة الأرض وأحمال المياه. ويمثل الشكل رقم (٣١) سعات المد والجزر البحري بالمناطق البحرية حول الكرة الأرضية.

٢) المؤثرات الدورية:

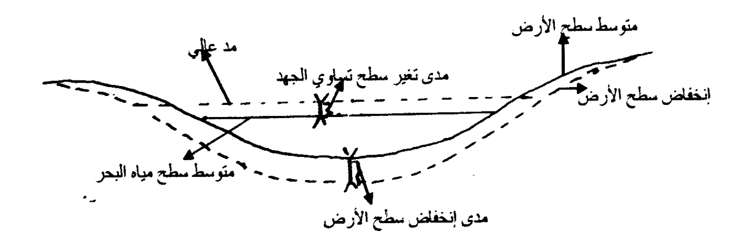
تشمل هذه المؤثرات عدداً من المتغيرات المناخية، مثل تغير درجة الحرارة والضغط الجوي وسقوط المطر والثلوج ومتغيرات أرضية مثل التغير في مستوى المياه الجوفية. ويعتبر التغير في درجة الحرارة من المؤثرات الدورية الواضحة، لأنها لا تؤثر فقط على الأرض وغلافيها المائي والهوائي، بل أيضا على تشغيل أجهزة الرصد. لهذا السبب، يعتبر المحافظة على ثبات درجة الحرارة بمنطقة تشغيل الأجهزة على درجة كبيرة من الأهمية. لذا فإن تركيب الأجهزة في كهوف طبيعية أو مغارات صناعية تحت سطح الأرض، لحمايتها من التغيرات الحرارية الغير طبيعية، أحد العوامل التي تساعد في الحصول علي بيانات دقيقة.

ويؤثر الضغط الجوي على سطح المياه، كما يؤثر حمل الثلوج نفس تأثير ثقل المياه البحرية، حيث أنها تحدث إنحداراً (ميلا) محليا أو إقليميا يعتمد على خاصية عدم التجانس والفواصل الأرضية.

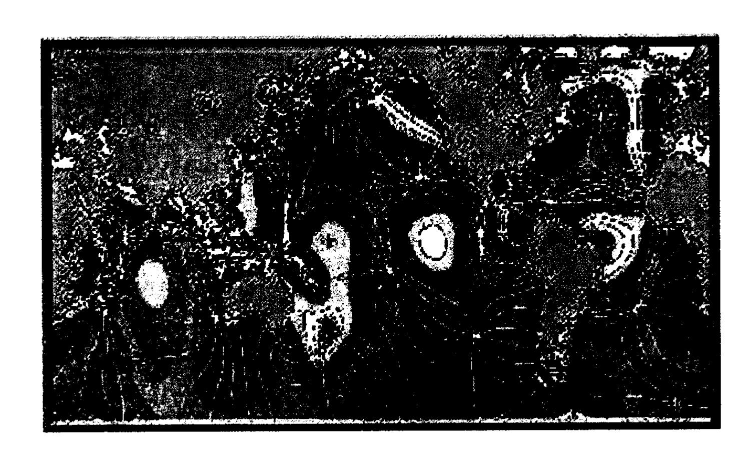
وجميع التغيرات الجوية لها دورات سنوية، ومن دونها يعتبر التغير الحراري خطير جداً نظراً لتداخل دورته السنوية مع الدورة السنوية للمد والجزر.

٣) المؤثرات الغير دورية:

هي مؤثرات ليس لها نظام دوري، وهذه المؤثرات تحدث بسبب التحركات الغير دورية للأرض، ومنها المؤثرات الطبيعية ومنها ما هوبفعل الإنسان (الصناعية). كما أن منها أيضا التغيرات المناخية طويلة المدى. وهذه المؤثرات غير الدورية يمكن فصلها عن المد والجزر.



شكل رقم (٣٠) : تأثير ثقل طبقات المياه على إنخفاض سطح الأرض وتغير سطح تساوي الجهد



شكل رقم (٣١) : سعات المد والجزر البحري بالمناطق البحرية حول الكرة الأرضية .



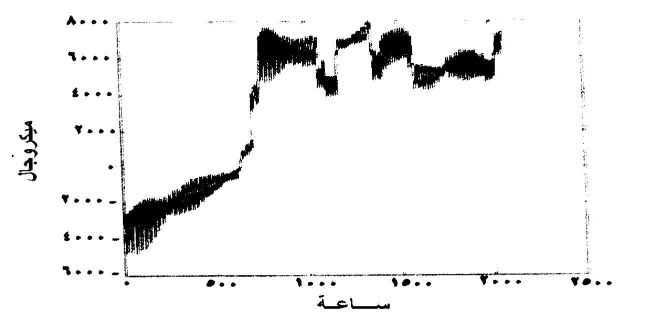
قياسات ودراسات المد والجزر الأرضي في مصر

في إطار مسعى المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية لتطوير تخصصاته العلمية في المجالات المختلفة لعلوم الجيوفيزياء والجيوديسيا، وإضافة فروع علمية جديدة إلى هذه التخصصات وبناء كوادر علمية متخصصة في هذه الفروع، كان المد والجزر التثاقلي إحداها. تعاون المعهد عام ١٩٧٦م مع المرصد الملكي البلجيكي لرصد وتسجيل المد والجزر التثاقلي في حلوان، حيث تم تثبيت أحد أجهزة القياسات المستمرة لعجلة الجاذبية الأرضية خاص المرصد الملكي البلجيكي (جرافيميتر نوع لاكوست رومبرج La Coste & Romberg Gravimeter) وأجهزته المساعدة في مقر المعهد بحلوان. كما تم التعاون مع المرصد الملكي البلجيكي مرة أخرى عام ١٩٧٩ لرصد وتسجيل المد والجزر التثاقلي في أسوان، حيث تم تثبيت نفس النوع من أجهزة القياس المستمر لعجلة الجاذبية الأرضية في مبنى مرصد الزلازل بأسوان. وقد شارك المعهد من خلال هذا التعاون في تشغيل الأجهزة وجمع البيانات، حيث كانت البيانات يتم تسجيها على ورق حراري حساس. أوضحت نتائج تحليل البيانات أنه في تسجيلات المد والجزر في حلوان تتداخل بعض الترددات الشاذة مع ترددات المد والجزر، بخلاف نتائج بيانات أسوان التي لا يوجد بها تداخلات.

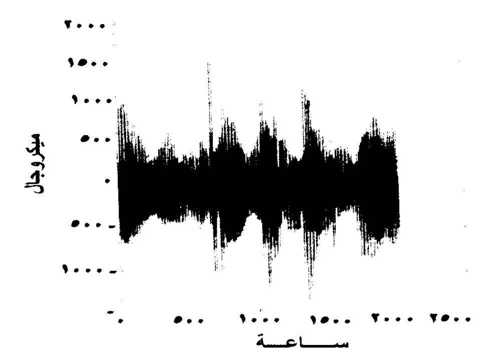
من خلال تعاون علمي آخر، مع معهد الجيوديسيا النظرية بجامعة دارمشتات بألمانيا، تم إستعارة أحد أجهزة قياس المد والجزر التثاقلي نوع لاكوست رومبرج (ET- 16 La Coste & Romberg) . تم تثبيت الجهاز على قاعدة متصلة بصخور الأرض الصلبة في مبني ذو حوائط مزدوجة تساعد على

تقليل التغير الحراري داخل المبني وثباته في معدل يتراوح بين ± ١ ° م في اليوم، كما تم تركيب أجهزة التسجيل الرقمي المساعدة لجمع البيانات. خلال الفترة من عام ٢٠٠٠م إلى عام ٢٠٠٣م شارك متخصصون من المعهد في تجميع البيانات كما شاركوا في تحليلها. ويمثل الشكل رقم (٣٢) بيانات المد والجز التثاقلي المسجل بحلوان، ويمثل الشكل رقم (٣٣) متبقية التثاقلية الأرضية المسجلة في حلوان، كما يمثل الشكل رقم (٣٤) المد والجزر التثاقلي المحسوب لنفس فترة الرصد عند موقع محطة حلوان بإستخدام نموذج الأرض الصلبة. أما الشكل رقم (٣٥) فيمثل ترددات وسعات موجات المد والجزر المحللة بإستخدام التحليل الطيفى لبيانات محطة حلوان والتي تظهر فيها ترددات الدورة اليومية والدورة نصف اليومية للمد والجزر.

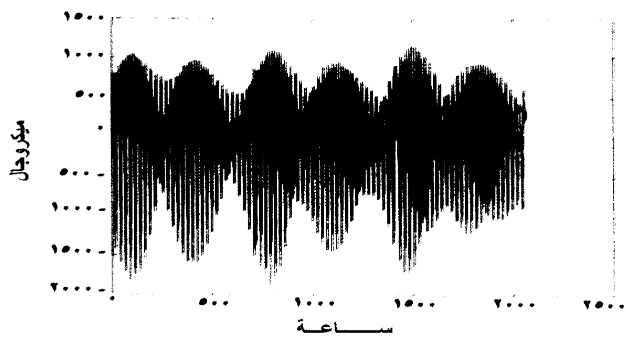
فيما بعد حصل المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية على جهاز جرافيميتر نوع La Coste & Romberg، للرصد المستمر لعجلة الجاذبية الأرض، وأجهزته المساعدة. تم إستخدامه لرصد وتسجيل ودراسة المد والجزر التثاقلي في منطقة شمال بحيرة ناصر بأسوان للتعرف على مدى إستجابة القشرة الأرضية بالمنطقة لقوى المد والجزر، وتحديد معاملات مرونة القشرة الأرضية في المنطقة، ودراسة تغير هذه المعاملات نتيجة لتغير مستوى المياه في بحيرة ناصر (تغير الأحمال) ، وعلاقتها بالنشاط الزلزالي وتشوهات القشرة الأرضية بالمنطقة. أيضا إجراء التصحيحات اللازمة للقياسات الجيوديسية الدقيقة التي تجري بالمنطقة لدراسة تشوهات القشرة الأرضية المرتبطة بالنشاط الزلزالي خاصة القياسات التي تجرى بإستخدام النظام العالمي لتعيين الإحداثيات GPS لرفع دقة هذه القياسات.



شكل رقم (٣٢) : بيانات المد والجزر التثاقلي المسجلة في حلوان



شكل رقم (٣٣) : متبقية التثاقلية الأرضية المسجلة في حلوان.



شكل رقم (٣٤) : المد والجزر التثاقلي المحسوب عند موقع محطة حلوان .

تم تثبيت جهاز الرصد المستمر للتثاقلية الأرضية على قاعدة مساحتها ٠,٥ × ٠,٥ م^{2} متصلة بصخور الأرض (شكل رقم ٣٦) ، في مبنى مركز الزلازل الإقليمي بأسوان بمنطقة صحاري غرب السد العالي وتجهيز غرفتين أحدهما لجهاز الرصد التثاقلي، معزولة جيداً لتثبيت التغير الحراري بها في حدود ± ٠,١ $^{\circ}$ م، والثانية لوضع أجهزة التسجيل وتجميع البيانات الرقمية والأجهزة المساعدة (شكل رقم ٣٧) .

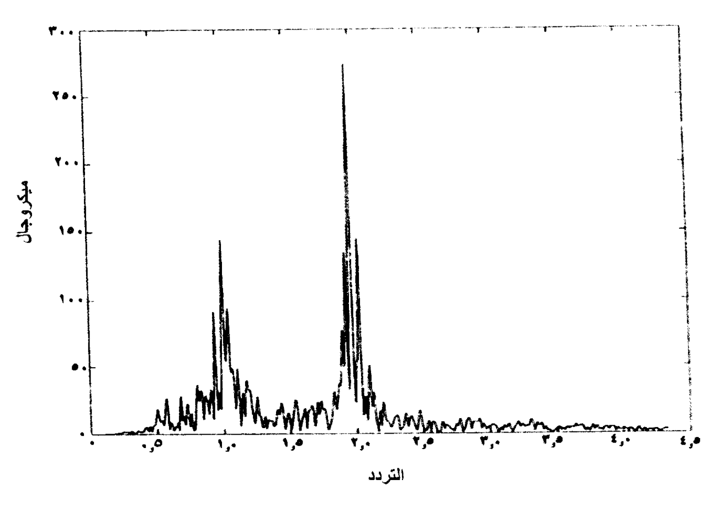
تم إجراء تحليل للبيانات المسجلة خلال الفترة من ٢٠٠٢ إلى ٢٠٠٤م. ويمثل الشكل رقم (٣٨) بيانات التسجيل المستمر للتثاقلية الأرضية بمنطقة صحاري بأسوان ، كما يمثل الشكل رقم (٣٩) البيانات المسجلة بمنطقة صحاري بأسوان بعد ضبطها والتخلص من الشوشرة الناتجة عن الهزات الأرضية الصغيرة والزلازل الكبيرة بالإضافة إلى إنحراف جهاز الرصد. ويمثل الشكل رقم (٤٠) التغير في مجال التثاقلية الأرضية في منطقة صحاري بأسوان محسوباً بإستخدام أحد النماذج المستخدمة في حساب المد والجزر، أما الشكل رقم (٤١) فيمثل متبقية التثاقلية الأرضية المسجلة بمنطقة صحاري بأسوان.

تم إجراء التحليل الطيفي لمتبقية التثاقلية الأرضية (شكل رقم٤١) لتحديد دورات التغير في التثاقلية الأرضية. يوضح الشكل رقم (٤٢) وجود دورة يومية مداها حوالي ٣٥ ميكروجال ودوره نصف يوميه. ونظراً لوجود متغيرين طبيعيين بالمنطقة هما التغير في منسوب المياه في بحيرة ناصر والتغير في منسوب المياه الجوفية، أجريت مقارنة بين هذين المتغيرين ومتبقية التثاقلية الأرضية. ويبين الشكل رقم (٤٣) مضاهاة التغير في التثاقلية

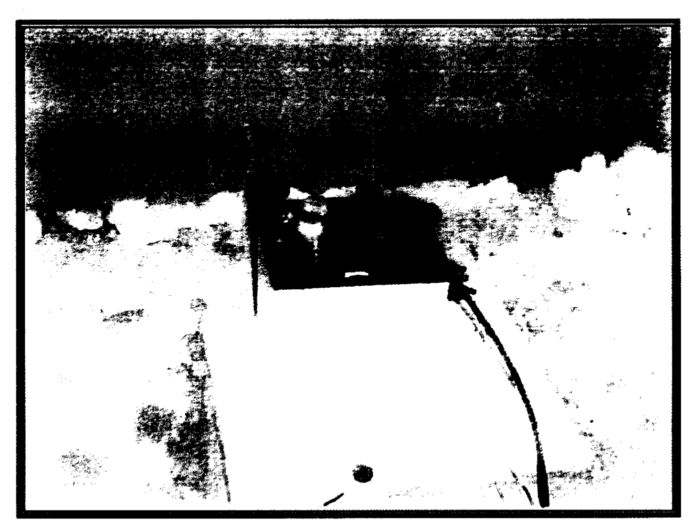
الأرضية مع التغير في منسوب المياه في بحيرة ناصر الذي يوضح تأخر رد فعل القشرة الأرضية للتغير في ثقل المياه في البحيرة، وهو ما يعني أن القشرة الأرضية بهذه المنطقة لا تتميز بمرونة خالصة إنما بعض خصائص الصلابة بالإضافة إلى خصائص المرونة. أما الشكل رقم (٤٤) فيبين مضاهاة التغير في التثاقلية الأرضية مع التغير في منسوب المياه في بحيرة ناصر، والتغير في مستوى المياه الجوفية في منطقة شمال غرب بحيرة ناصر، الذي يتضح منه وجود إرتباط بين التغير في التثاقلية الأرضية مع التغير في مستوى المياه الجوفية إلا أن تأثيره أقل كثيراً من تأثير التغير في مستوى المياه في بحيرة ناصر (ثقل البحيرة).

وتوضح هذه الأمثلة على الرغم من قلتها أهمية دراسة المد والجزر وتسجيله في المناطق المتأثرة بالتشوهات التكتونية أو التشوهات الناتجة عن مؤثرات خارجية خاصة منها البحيرات الصناعية التي تجمع بين تأثر مياهها بقوى المد والجزر بالإضافة إلى العوامل الطبيعية السائدة بمناطق هذه البحيرات.





شكل رقم (٣٥) : التحليل الطيفي لبيانات المد والجزر التثاقلي لمحطة حلوان .

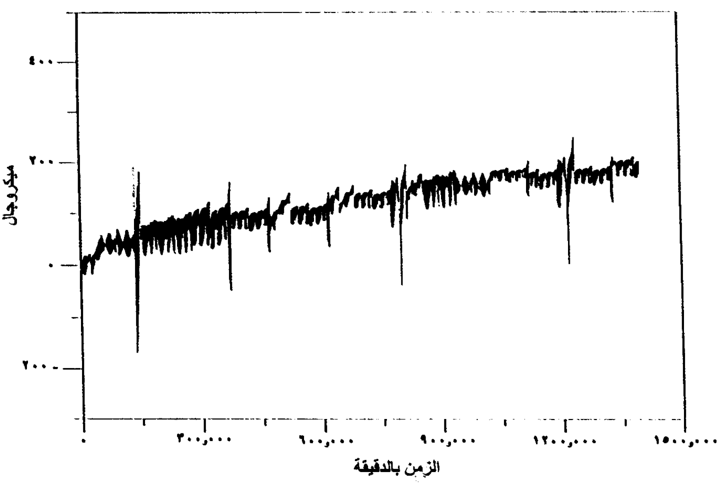


شكل رقم (٣٦) : جهاز الرصد التثاقلي نوع لاكوست رومبرج

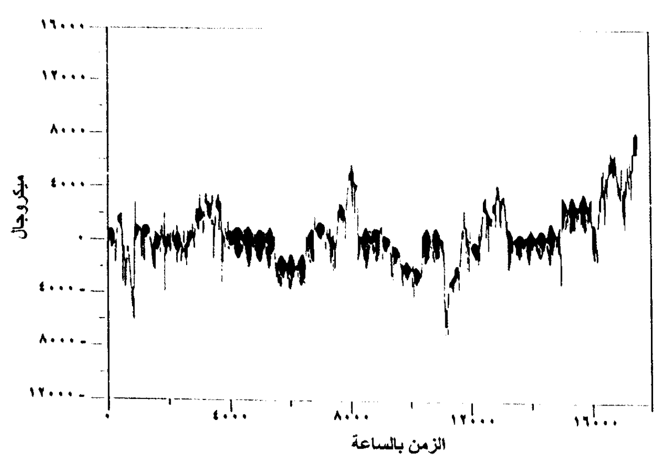
.(La Coste& Romberg D.218)



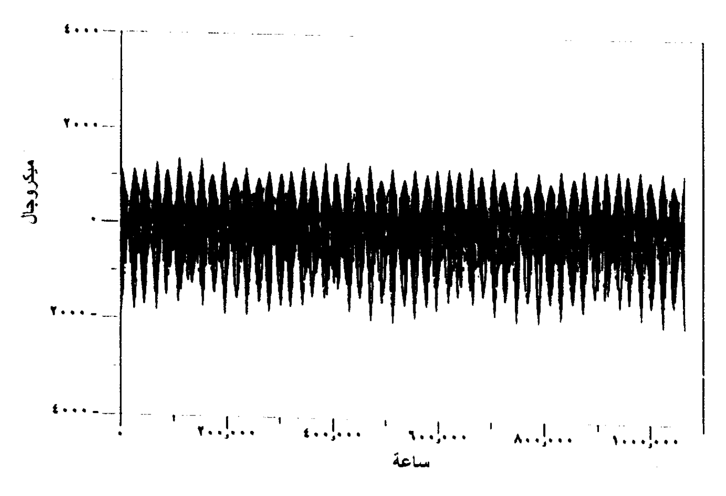
شكل رقم (٣٧) : أجهزة تجميع البيانات الرقمية وتسجيلها .



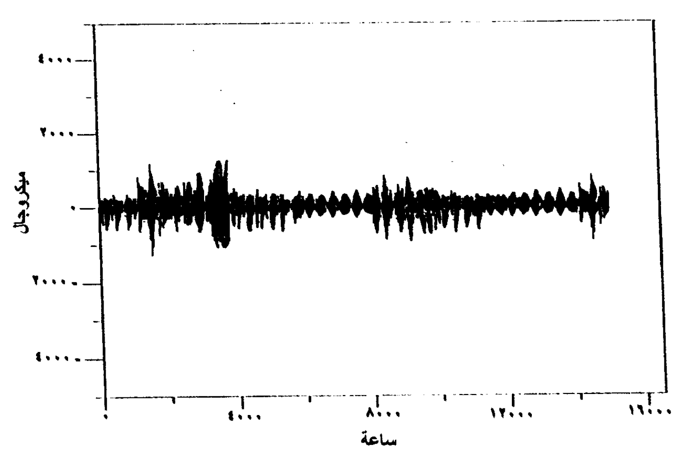
شكل رقم (٣٨) : بيانات التسجيل المستمر للتثاقلية الأرضية بمنطقة صحاري بأسوان قبل التخلص من الشوشرة المتداخلة مع التسجيل .



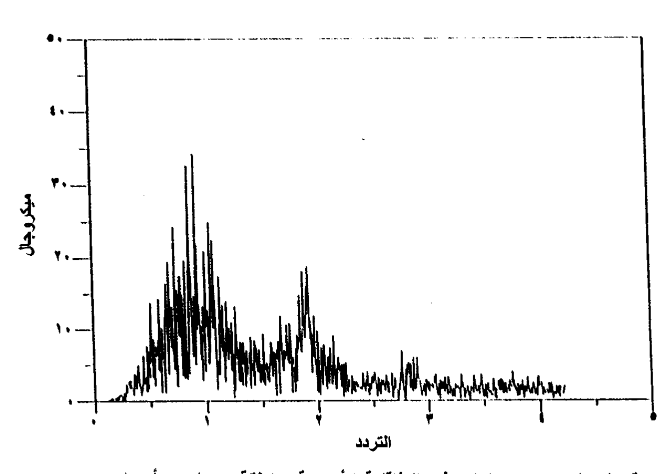
شكل رقم (٣٩) : بيانات التسجيل المستمر للتثاقلية الأرضية بمنطقة صحاري بأسوان بعد الضبط والتخلص من الشوشرة المتداخلة .



شكل رقم (٤٠) : التغير في مجال التثاقلية الأرضية في منطقة صحاري بأسوان محسوباً باستخدام أحد النماذج الرياضية لحساب المد والجزر .

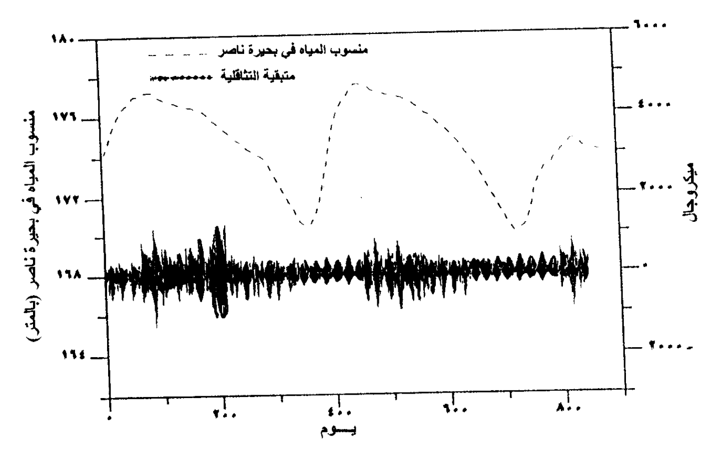


شكل رقم (٤١) : متبقية التثاقلية الأرضية المسجلة في منطقة صحاري بأسوان .

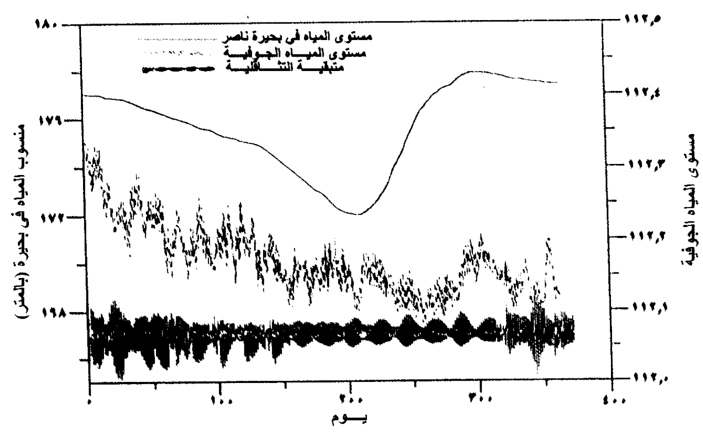


شكل رقم (٤٢) : دورات التغير في التثاقلية الأرضية بمنطقة صحاري بأسوان من التحليل الطيفي لمتبقية التثاقلية الأرضية .





شكل رقم (٤٣) : مضاهاة التغير في التثاقلية الأرضية مع التغير في منسوب المياه في بحيرة ناصر .



شكل رقم (٤٤) : مضاهاة التغير في التثاقلية الأرضية مع التغير في منسوب المياه في بحيرة ناصر والتغير في منسوب المياه الجوفية في منطقة شمال غرب بحيرة ناصر .



أ.د. على عبد العظيم تعيلب

أستاذ الجيوفيزياء وتحركات القشرة الأرضية المتفرغ

بالمعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية

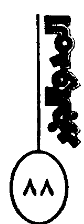
- من أوائل الحاصلين على درجة دكتوراه فلسفة العلوم في مجال "طبيعة الأرض" في مصر. حصل على درجة الدكتوراه عام ١٩٧٧ م من معهد طبيعة الأرض ببوتسدام بالمانيا.

- حصل على نوط الامتياز من الطبقة الأولى عام ١٩٩٥ م، وجائزة الدولة التشجيعية في العلوم الجيولوجية عام ١٩٨٨ م عن دورة في إنشاء تخصص دراسات تحركات القشرة الأرضية في مصر.

- حصل أيضا على شهادات تقدير من الجمعية الجيوفيزيقية المصرية عام ١٩٩٤م ومن المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية أعوام ١٩٩٠ و١٩٩٦ و٢٠٠٤ م وميداليات تقدير من المعهد ١٩٩٠ م.

- على المستوى المحلى شغل مناصب علمية وقيادية متعددة بالمعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية حتى عام ٢٠٠٤ م، تدرجت من رئاسة معامل وأقسام علمية إلى نيابة المعهد ثم رئاسته، كما يشارك في أنشطة أكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا من خلال رئاسته للجنة القومية للطبيعة الأرضية ومقاييس الأرض، وعضويته للجنة القومية للتخفيف من الكوارث، واللجنة القومية للاكسو، ومجلس بحوث العلوم الأساسية، ومجلس بحوث علوم وتكنولوجيا الفضاء.

- على المستوى الدولى فهو عضو مكتب الاتحاد الدولى للطبيعة الأرضية ومقاييس الأرض وعضو لجنته التنفيذية للفترة من ٢٠٠٣-٢٠٠٧، ويمثل مصر لدى الرابطة الدولية للجيوديسيا أحد روابط الاتحاد الدولي للطبيعة الأرضية ومقاييس الأرض ، منذ عام ١٩٩١م، كما تمتع بعضوية عدد من لجانها ورئاسة أحد لجانها الفرعية عدة دورات خلال هذه الفترة.



المحتويـــات

تابــع المحتويـــات

الموضـــــوع	الصفحة

تابـع المحتويـــات



تم الطبع :

بمطابع الطوبجى التجارية

٢٠ شارع جامع الإسماعيلى - لاظوغلى - القاهرة

ت : ٧٩٦٢٣٦٤ - ٠١٢٢١١٧٣٠٦ - ٠١٠٨٨٢٨٨٨١